

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
Biološki odsjek

Marija Žili

**DNEVNE I SEZONSKE PROMJENE DRIFTA VRSTE  
GAMMARUS FOSSARUM (CRUSTACEA: AMPHIPODA) U  
POTOKU STIPER NA KALNIKU**

Diplomski rad

Zagreb, 2009. god.

Ovaj rad, izrađen u Laboratoriju za ekologiju životinja Zoologijskog zavoda, pod neposrednim vodstvom doc.dr.sc. Sanje Gottstein, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno- matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja diplom. ing. biologije, smjer ekologija.

## **Zahvala**

Zahvaljujem se svojoj mentorici doc. dr. sc. Sanji Gottstein i pomoćnom voditelju mr. sc. Krešimiru Žganecu na mnogobrojnim stručnim savjetima i prijedlozima, razumijevanju i suradnji pri izradi ovoga diplomskog rada.

Također se zahvaljujem i svim pozitivnim osobama koje su dale svoj doprinos mojem znanju i studiranju.

Najviše se zahvaljujem svojim roditeljima, koji su mi svojom bezuvjetnom podrškom otvorili sva vrata, i mojoj sestri, koja mi je usadila ljubav za znanjem.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveu ilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matemati ki fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

### DNEVNE I SEZONSKE PROMJENE DRIFTA VRSTE *GAMMARUS FOSSARUM* (CRUSTACEA: AMPHIPODA) U POTOKU STIPER NA KALNIKU

Marija Žili  
Zoologijski zavod  
Biološki odsjek, Prirodoslovno-matemati ki fakultet  
Sveu ilište u Zagrebu  
Rooseveltov trg 6, Zagreb

Istraživanje dnevnih i sezonskih promjena drifta vrste *Gammarus fossarum* provedeno je na malom ogranku 2. reda potoka Stiper, pritoku rijeke Bednje na jugozapadnom dijelu Kalnika, u razdoblju od svibnja 2001. do lipnja 2002. g. Drift je pra en jedanput mjese no, a uzorci su sakupljani svaka 4 sata pomo u aluminijske drift klopke promjera oka mreže 200  $\mu\text{m}$ , a rezultati su izražavani kao stope drifta ( $\text{br.jed.4h}^{-1}$ ). Dva puta mjese no mjereni su sljede i fizikalno-kemijski imbenici: temperatura vode i zraka, koncentracija i zasi enje vode kisikom, elektri na provodljivost, alkalinitet, pH, širina i dubina potoka, a zabilježena je i dužina trajanja no i. Cilj istraživanja bio je pratiti utjecaj abioti kih imbenika na dnevne i sezonske promjene drifta rakušca vrste *Gammarus fossarum* i njihovih svlakova.

Stope drifta rakušaca bile su ve e no u nego danju tijekom svih istraživanih mjeseci. Dužina no i utje e na broj vrhunaca drifta rakušaca. Tijekom dugih zimskih i jesenskih no i zabilježena su dva vrhunca, a tijekom kratkih ljetnih i proljetnih no i jedan vrhunac drifta, s iznimkom u sije nju i velja i kad je zabilježen samo jedan vrhunac drifta. Stopa drifta svlakova uglavnom je bila ve a danju u ljetnim i proljetnim, a no u u zimskim mjesecima. Znatno ve e stope drifta rakušaca i svlakova izmjerene su tijekom ljetnih mjeseci. Tijekom zimskih mjeseci drift rakušaca i svlakova je bio znatno niži, s iznimkom drugog manjeg vrhunca drifta rakušaca u velja i. Sezonske promjene drifta rakušaca su u pozitivnoj korelaciji s temperaturom vode ( $r=0,50$ ). Od ostalih imbenika jedino je sa širinom i dubinom (indirektnim pokazateljima protoka) utvr ena slaba negativna korelacija što zna i da je protok negativno utjecao na sezonske promjene drifta. Drift svlakova je u slaboj pozitivnoj korelaciji s temperaturom vode ( $r=0,28$ ), a elektri na provodljivost je bila u najja oj pozitivnoj korelaciji s driftom svlakova ( $r=0,5$ ), dok su ostali imbenici slabo ili nikako povezani s driftom svlakova.

(42 stranice, 12 slika, 3 tablice, 43 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

**Klju ne rije i:** *Gammarus fossarum*, stopa drifta, dnevni periodizam, sezonske promjene, svlakovi

**Voditelj:** Doc. dr. sc. Sanja Gottstein

**Pomo ni voditelj:** Mr.sc. Krešimir Žganec

**Ocjenjiva i:**

**Rad prihva en:**

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation thesis

### DIEL AND SEASONAL PERIODICITY IN THE DRIFT OF SPECIES *GAMMARUS FOSSARUM* (AMPHIPODA: GAMMARIDAE) IN THE STIPER STREAM, KALNIK

Marija Žili  
Department of Biology  
Faculty of Science, University of Zagreb  
Rooseveltova trg 6, Zagreb

In this study diel and seasonal changes of *Gammarus fossarum* drift were studied in a small second-order branch of the Stiper stream, tributary of the Bednja River, in the southeastern part of the Kalnik Mountain, from May 2001 to June 2002. Drift samples were collected once a month, every four hours with aluminium drift sampler (200  $\mu\text{m}$  mesh size) and results were presented as drift rate (no. ind.  $4\text{h}^{-1}$ ). Physico-chemical parameters measured twice a month were: air and water temperature, dissolved oxygen, oxygen saturation, conductivity, alkalinity, pH, width and depth of the stream, and night length also noticed. The purpose of this study was to determine effects of abiotic factors on diel and seasonal changes of amphipod *Gammarus fossarum* drift.

Drift rates were greater during the night than during the day in all months. Night length affected number of drift peaks. During the long winter and autumn nights two drift peaks were observed, and during short summer and spring nights only one peak occurred, with exceptions in January and February when only one peak was observed. The exuvial drift rates were much higher during the day in spring and summer months, but during winter months they were higher during the night. Much higher drift rates of gammarids and their exuvia were recorded during summer, while during winter months drift was much lower. Drift rate reached secondary peak in February. Highly positive relationship between drift and water temperature was observed ( $r=0.50$ ). Among other factors only width and depth (indirect measures of flow) were in slight negative correlation with drift, showing that flow was negatively affected drift. Exuvial drift was in slight positive correlation with temperature ( $r=0.28$ ) and conductivity was the most strongly positively correlated with drift ( $r=0.50$ ), while other abiotic factors had slight or no effect on exuvial drift.

(42 pages, 12 figures, 3 tables, 43 references, original in Croatian language)

**Keywords:** *Gammarus fossarum*, drift rate, diel periodicity, seasonal changes, exuvia

**Supervisor:** Doc. dr. sc. Sanja Gottstein

**Thesis advisor:** Mr. sc. Krešimir Žganec

**Reviewers:**

**Thesis accepted:**

## **SADRŽAJ:**

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Što je drift i koja je njegova važnost za organizme u tekućicama?	1
1.2 Utjecaj abiotičkih čimbenika na drift	3
1.1.1 Brzina strujanja i protok vode	3
1.1.2 Svjetlost i dnevni periodizam drifta	4
1.1.3 Temperatura vode	6
1.1.4 Premještanje sedimenta	6
1.1.5 Ostali čimbenici	7
1.3 Sezonske promjene drifta	8
1.4 Endogeni ritmovi –regulacija dnevnog periodizma drifta	9
1.5 Ciljevi istraživanja	11
<b>2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b>	<b>12</b>
2.1 Obilježja istraživane postaje	12
<b>3. MATERIJALI I METODE</b>	<b>14</b>
3.1 Dinamika terenskih istraživanja	14
3.2 Metode terenskih istraživanja	14
3.2.1 Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika vode	14
3.2.2 Metode mjerenja drifta na istraživanoj postaji potoka Stiper	14
3.3 Laboratorijska obrada uzoraka	15
3.4 Statistička obrada podataka	16
<b>4. REZULTATI</b>	<b>17</b>
4.1 Fizikalno-kemijski čimbenici u potoku Stiper	17
4.1.1 Temperatura	19
4.1.2 Koncentracija i zasićenje kisikom	20
4.1.3 Električna provodljivost	21
4.1.4 pH	22

4.1.5 Širina i dubina potoka na mjestu postavljanja drift klopke	23
4.2 Drift vrste <i>Gammarus fossarum</i> na istraživanoj postaji potoka Stiper	24
4.2.1 Dnevne promjene drifta vrste <i>Gammarus fossarum</i>	24
4.2.2 Sezonske promjene drifta vrste <i>Gammarus fossarum</i>	28
4.2.3 Utjecaj abiotičkih čimbenika na dnevne i sezonske promjene drifta vrste <i>Gammarus fossarum</i>	31
 <b>5. RASPRAVA</b>	 <b>33</b>
 <b>6. ZAKLJUČAK</b>	 <b>39</b>
 <b>7. LITERATURA</b>	 <b>40</b>

## 1. UVOD

Tijekom prve polovice 20. stoljeća istraživači su se zainteresirali za sudbinu kopnenih kukaca koji padaju na površinu vode rijeka ili potoka, radi odričavanja njihovog značaja za prehranu riba. Postavljanjem mreža u potok radi hvatanja kukaca s površine vode nehotice su otkrili da struja vode nizvodno transportira u njihove mreže veliki broj organizama koji žive na dnu tekućica (Needham, 1928). Ovaj fenomen nizvodnog otplavlivanja organizama u tekućicama nazvan je drift. Međutim, istraživanja drifta su se intenzivirala tek nakon što je Müller (1954) postavio konceptualne osnove za istraživanja drifta. Nekoliko godina kasnije je otkriveno da se drift beskralježnjaka znatno intenzivnije odvija tijekom noći (Waters, 1962), što je potaknulo daljnja istraživanja drifta.

### 1.1. Što je drift i koja je njegova važnost za organizme u tekućicama?

Pojam drift u ekologiji tekućica označava nizvodni transport životinja u struji vode koje normalno žive na ili u supstratu dna tekućica, dok kopnene životinje koje padnu na površinu vode imaju površinski drift. Najčešće u driftu sudjeluju beskralježnjaci, ali i inke kukaca i rakušci, iako su u driftu zabilježeni i gotovi svi ostali organizmi koji žive u tekućicama od algi iz obraštaja (perifitona) do ličinki riba i vodozemaca (Allan, 1996). Treba naglasiti da ne postoji "fauna drifta", jer ona potječe od beskralježnjaka faune dna, tj. bentosa, koji vrlo kratko vrijeme provode u stupcu vode, odnosno u driftu (Waters, 1972).

Kvantitativno najzastupljenije skupine životinja u driftu su vodencvjetovi (Ephemeroptera), obalari (Plecoptera), tulari (Trichoptera) i dvokrilci (Diptera) porodice Simuliidae. Rakušci (Amphipoda) roda *Gammarus* kao i jednakonožni rakovi (Isopoda) roda *Asellus*, također često imaju vrlo značajni udio u driftu beskralježnjaka (Waters, 1972).

U literaturi se često spominje klasifikacija drifta na nekoliko glavnih kategorija koje je prvi razlučio Waters (1965), a to su katastrofični, etološki ili aktivni, distribucijski i konstantni drift. Kako je upotreba ovih termina izazvala dosta konfuzije u ekološkoj literaturi, preporuča se njihova precizna i oprezna upotreba (Brittain i Eikeland, 1988).

Katastrofični drift uzrokovan je poplavama tijekom kojih se narušava stabilnost supstrata zbog jakog strujanja vode. Katastrofični drift mogu uzrokovati i neki drugi



ekstremni uvjeti kao što su suše, povećanje temperature vode, topljenje leda, onečišćenje metalima, pesticidima i sl. (Waters, 1972).

Etološki ili aktivni drift posljedica je različitih oblika ponašanja životinja, prvenstveno dnevno-noćnog periodizma aktivnosti. Životinje ulaze u drift pasivno ili aktivno prvenstveno kao rezultat vlastite aktivnosti. Na primjer, dok tragaju za hranom, mogu izgubiti uporište na supstratu te ih struja vode otplavljuje nizvodno, pa je to pasivni drift. Životinje mogu namjerno, tj. aktivno ući u drift, npr. izbjegavajući predatore, pa se takav drift zove aktivni drift (Brittain i Eikland, 1988). Primjer etološkog drifta je povećanje broja mužjaka rakušaca roda *Gammarus* u driftu u vrijeme parenja (Lehmann, 1967).

Konstantni ili pozadinski drift je rezultat slučajnog otplavljivanja manjeg broja životinja u bilo koje doba dana (Waters, 1972). Ovaj oblik vrlo je teško razlikovati od aktivnog ili etološkog drifta, a vjeruje se da je ulazak jedinki rakušaca roda *Gammarus* u drift tijekom dana većim dijelom pozadinski drift (Müller, 1974).

Distribucijski drift predstavlja oblik disperzije, pogotovo u ranim životnim stadijima ličinki kukaca nakon izlijezanja iz jaja (Müller, 1974).

Drift omogućuje jedinkama da aktivno ili pasivno koloniziraju staništa na kojim postoje povoljni uvjeti za njihovo preživljavanje (Brittain i Eikland, 1988).

U većini istraživanja utvrđeno je da je veliki broj beskrležnjaka u driftu, što je nametnulo pitanje kako gornji dijelovi toka ne ostanu bez životinja kad postoji takvo veliko nizvodno kretanje jedinki zbog drifta. Da bi odgovorio na ovo pitanje kod vodenih kukaca Müller (1954) je pretpostavio postojanje kolonizacijskog ciklusa, tj. da uzvodnim letom i polaganjem jajašaca na gornjim dijelovima toka odrasle ženke kompenziraju nizvodni drift vodenih ličinki stadija.

Uzvodna kretanja ličinki i odraslih stadija su također važna jer osiguravaju održavanje populacija koje su se smanjile zbog nepovoljnih uvjeta, kao što su poplave, u gornjim dijelovima toka. Rakušci koji nastanjuju rijeke i potoke često se kreću uzvodno, najviše radi kolonizacije novih područja, ili radi rekolonizacije poplavama narušenih uzvodnih područja, traženja seksualnog partnera ili hrane, a manje zbog kompenzacije nizvodnog kretanja (Waters, 1972).

Waters (1965) je predložio pretpostavku „prekomjerne produkcije“, kao alternativu kolonizacijskog ciklusa za objašnjenje drifta. On smatra da drift predstavlja prekomjernu produkciju, tj. jedinke koje premašuju kapacitet staništa, tako da se jedinke izgubljene driftom ne moraju kompenzirati uzvodnim migracijama. Očekuje se da drift bude mali

kada su populacije male i da raste kako populacije brojnoš u jedinki nadilaze kapacitet staništa. Rata drifta ovisi o produkciji i mogla bi se koristiti kao indeks produkcije bentosa.

Zanimljivo je, me utim, da ni teorija kolonizacijskog ciklusa, ni teorija prekomjerne produkcije pa ni uzvodna kretanja u bentosu nisu univerzalno primjenjivi za objašnjenje održanja uzvodnih populacija unato driftu. Razlog tome vjerojatno je postojanje velike varijabilnosti abioti kih i bioti kih imbenika koji utje u na odnos izme u drifta i veli ine populacija beskrležnjaka (Waters, 1972; Allan, 1996).

## **1.2. Utjecaj abioti kih imbenika na drift**

Abioti ki imbenici mogu imati u inak na aktivni drift koji iniciraju sami organizmi ili na pasivni ili slu ajni drift koji je rezultat promjene fizikalnih uvjeta u vodotoku (Brittain i Eikeland, 1988). Na primjer, katastrofi ni drift je posljedica fizikalno-kemijskih promjena uzrokovanih one iš enjem, naglih promjena protoka ili temperature vode.

Neki od zna ajnijih abioti kih faktora koji utje u na sastav i intenzitet drifta su brzina strujanja i protok vode, premještanje sedimenta, temperatura, svjetlost, pH, koli ina kisika i one iš enje.

### **1.2.1. Brzina strujanja i protok vode**

Brzina strujanja i drift su naj eš e u pozitivnom odnosu (Brooker i Hemsworth, 1978; O'Hop i Wallace, 1983), a na drift bitno utje u i hidrološka zbivanja u vodotoku (Borchardt, 1993). este promjene protoka imaju mali u inak na drift beskrležnjaka, dok promjena protoka nakon dugog razdoblja stalne struje ima ve i utjecaj na drift (Perry i Perry, 1986). Kada se pove a brzina strujanja vode, dolazi od poja anog otplavlivanja supstrata, a zajedno sa supstratom i životinje se otpuštaju s dna, što dovodi do njihovog premještanja na nove dijelove toka nizvodno. U vrijeme snažnije struje vode, životinje prelaze ve e udaljenosti pomo u drifta te se duže vrijeme nalaze u driftu pa je i radi toga zabilježena ve a rata drifta (Bird i Hynes, 1981).

Ovisnost drifta o protoku ovisi i o dobu godine. Tako je drift vodenih beskralježnjaka tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci vrlo ovisan o protoku, a u vrijeme zimskih i proljetnih mjeseci nije (O'Hop i Wallace, 1983).

Moguće je također da u uvjetima smanjene brzine struje i slabog protoka organizmi pojanano ulaze u drift zbog potrebe za hranom ili nekih drugih fizioloških potreba (Vinikour, 1981). Osim toga, smanjeni protok i male brzine strujanja mogu povećati drift u uvjetima smanjene količine kisika kada se životinje kreću radi traženja mjesta s jačom strujom vode i povećanim sadržajem kisika (Waters, 1972). Zbog toga nije moguće donijeti generalni zaključak u kojim slučajevima promjena brzine struje najviše utječe na povećanje drifta jer to ovisi o vrsti organizma, o vrsti supstrata i drugim imbenicima (Brittain i Eikland, 1988).

Rakušci (Amphipoda, Gammaridae) plivaju uzvodno i pritom izbjegavaju područja s najvećom strujom vode. Neki se penju na površinu kamenja, pogotovo onih prekrivenih mahovinom, da bi se hranili algama. Kad izgube dodir sa supstratom ili kad ih struja vode odnese, dok prevladaju udaljenost od jednog do drugog kamena, ulaze u drift. Ulazak u drift je pasivan u slučaju otplavljivanja, a aktivan u slučaju plivanja, a povećava se sa strujom vode (Elliott, 2002). Ipak, aktivnost i drift rakušaca vrste *Gammarus pseudolimnaeus*, bio je veći kod brzine struje od 5 do 15 m/s, nego kod brzine od 20 do 25 m/s (Williams i Moore, 1982).

### 1.2.2. Svjetlost i dnevni periodizam drifta

Mnogi vodeni beskralježnjaci pokazuju dnevni periodizam aktivnosti. Dnevni periodizam je periodični obrazac ponašanja životinja tijekom vremenskog razdoblja od 24 sata. Prva istraživanja vezana za dnevni periodizam drifta vezana su za vodencvjetove roda *Baetis* i rakušce roda *Gammarus*, koji su znatno aktivniji tijekom noći, kada ulaze i u drift (Waters, 1962; Müller, 1966).

Na aktivnost vodenih beskralježnjaka posljedica je izbjegavanja vizualnih predatora, prvenstveno riba (Allan, 1996). Kod rakušaca roda *Gammarus* niska dnevna aktivnost i noćni obrazac aktivnosti razvili su se kao odgovor na opasnost od predatora. Liinke tulara koje prerastu svoje kućice i zamjenjuju ih novima, to čine noću, najvjerojatnije da bi izbjegle predatora, a tada također ulaze i u drift (Waters, 1972).

Intenzitet svjetla je glavni imbenik koji utječe na dnevni periodizam drifta. Pokazalo se da nedostatak svjetlosti uzrokuje povećanu aktivnost životinja, a da je prag intenziteta svjetlosti 1 do 5 luksa, mjereno na površini vode, dok je u laboratorijskim uvjetima osvjettljenje od 0,001 luksa uzrokovalo naglo prekidanje aktivnosti. Zbog različitog prodora svjetlosti u vodi, što ovisi o dubini i prozirnosti, te o nepravilnosti supstrata, u prirodnim uvjetima postoji viši prag intenziteta svjetlosti. Varijacije valne duljine svjetlosti imaju mali utjecaj na same organizme, a i svi organizmi nemaju isti prag intenziteta svjetlosti (Waters, 1972).

Svjetlost od 5 luksa kroz čitavu noć onemogućuje drift, dok intenzitet od 1 do 2 luksa ne sprečava ni vrhunac drifta, ali ga smanjuje za 5 do 10 puta (Müller, 1965 cit. iz Allan, 1996). Mjesecina od 0,2 luksa može, ali i ne mora spriječiti drift. Drift se povećava kada intenzitet svjetla padne sa 60 na 1 luks, što se u prirodi događa u sumrak (Elliott, 1969 cit. iz Allan, 1996). Životinje na dnu koje žive u sjeni vjerojatno detektiraju različite intenzitete svjetlosti, pa ne odgovaraju na podražaj isto kao životinje koje žive u uvjetima s više dostupne svjetlosti (Holt i Waters, 1967 cit. iz Allan, 1996).

Organizmi koji provode dan skriveni pod kamenjem, na dnu ili u intersticijskim prostorima supstrata se pomiču i kad padne mrak prema površini u potrazi za hranom povećavaju i mogućnost da će se naći u struji vode. Herbivori traže alge na površini kamenja, a predatori prate njihovu aktivnost i tako obje skupine pokazuju periodično ponašanje u driftu (Waters, 1972).

Kod mnogih vrsta beskralješnjaka drift obično ima dva vrhunca tijekom noći. U najvećem broju slučajeva, jedan vrhunac je uoči sumraka, poslije kojeg slijedi pad aktivnosti tijekom noći, i jedan manji vrhunac netom prije zore. To je bigemni obrazac drifta. Manje često je alternirajući obrazac u kojem je najveći vrhunac prije zore, a manji nakon ili za vrijeme sumraka (Allan, 1996).

Dnevni periodizam nije jednak u svim godišnjim razdobljima. Postoje dva manja vrhunca u dugim zimskim noćima, a jedan veliki u kratkim ljetnim noćima (Waters, 1962; Müller, 1966).

Allan (1978) kao objašnjenje različitih periodičnosti drifta različitih veličinskih stadija beskralješnjaka predlaže selektivni utjecaj predatora. Pastrva koja se hrani driftajućim vodencvijetom vrste *Baetis caudatus* danju bira samo veće ličinke. No ona ne pokazuje selektivnost prema veličini plijena. Pošto su velike ličinke izložene većem mortalitetu danju, prirodna selekcija sprječava je drift velikih ličinki danju. Terenskim je istraživanjima stvarno i dokazano da veće ličinke više ulaze u drift noću nego danju, i to

prvenstveno radi izbjegavanja predatora. No mogu e je da prisutnost predatora potpuno prekine drift njihovog plijena. Tako se na primjer u laboratoriju drift rakušaca vrste *Gammarus pseudolimnaeus* uvo enjem predatorske ribe gotovo potpuno prekinuo (Williams i Moore, 1982).

### 1.2.3. Temperatura vode

Nije dokazano da temperatura vode izravno utje e na drift, no zna se da djeluje na drift nekih vrsta kao što su rakušci vrste *Gammarus pulex*, dok na drift drugih vrsta uop e nema utjecaj (npr. obal ar *Diura bicaudata*) (Waters, 1972). Vrsta *G. pulex* više ulazi u drift kod niskih temperatura blizu 0 °C (Meijering, 1972 cit. iz Elliott, 2002). Ipak u drugim istraživanjima pove anje temperature uzrokuje rast drifta vrste *G. pulex* (Müller, 1966). Pove anjem temperature pove ava se aktivnost organizama i me se pove ava rizik od slu ajnog drifta (Williams, 1990; Winterbottom i sur., 1997, cit. iz Svendsen i sur., 2004). Drift se pove ava povišenjem temperature jer životinje ulaze u drift da bi izbjegle nepovoljne uvjete visoke temperature vode. Pritom se smanjuje i gusto a populacije, djelomi no zbog smrtnosti životinja uzrokovane povišenjem temperature, a djelomi no zbog drifta uzrokovanog istima. (Durrett i Pearson, 1975). Me utim, detaljnim istraživanjem drifta vrste *G. pulex*, Elliott (2002) je zaključio da je temperatura u vrlo slaboj pozitivnoj korelaciji s driftom te da protok i gusto a imaju znatno ve i utjecaj na drift ove vrste.

### 1.2.4. Premještanje sedimenta

Premještanje sedimenta posljedica je pove anog protoka vode i pove ane brzine strujanja. Zajedno sa sedimentom struja nizvodno otplavljuje i organizme. Premještanje sedimenta uzrokuje nagle i jake bujice, što tako er dovodi do znatnog pove anja broja životinja u driftu. Izme u broja vodenih organizama u driftu i koli ine suspendiranog organskog materijala obi no postoji pozitivna korelacija (O'Hop i Wallace, 1983).

Pove ani pronos sedimenta, dakle, pove ava drift, a smanjuje gusto u bentosa. Na drift najve i utjecaj ima istaloženi sediment, dok suspendirani materijal ima manji utjecaj. Nakon pove anja pronosa sedimenta, pove anje drifta se obi no javlja s manjim

zakašnjenjem, budu i da je potrebno neko vrijeme da dođe do značajnijih promjena uvjeta u staništu i potom do reakcije organizama (Suren i Jowett, 2001).

Sediment ne ostaje na istom mjestu gdje je istaložen, osim u vrlo stabilnim hidrološkim uvjetima, tako da se fauna mora oporaviti kada se ponovno uspostave početni uvjeti. Oporavak je obično brz nakon jačih bujica, ili normalnih sezonskih varijacija brzine struje, a pritom je bitna rekolonizacija beskralješnjaka driftom iz uzvodnih područja (Tebo, 1955; Hynes 1973; Rosenberg i Snow, 1977 cit. iz Wiederholm, 1984).

### 1.2.5. Ostali imbenici

Tijekom razdoblja niske koncentracije kisika zbog malih brzina struje beskralješnjaci izlaze na površinu supstrata gdje su izloženiji struji vode da bi podmirili potrebe za kisikom, a na taj način postaju izloženiji ulasku u drift. U tekućicama razina kisika dostiže svoj minimum noću, pa zbog toga promjene položaja radi disanja mogu biti uzrok mnogobrojne pojave drifta (Wiley i Kohler, 1984).

Zakiseljavanjem vode tj. smanjenjem pH drift se povećava (Bernard, 1990). Tijekom promjene pH vode, drift se mijenja karakteristično za svaku vrstu (kao i drift neovisan o promjeni pH), a i koliko će se drift povećati ovisi o toj nominalnoj vrijednosti (Hopkins i sur., 1989). Kad se pH u staništu rakušaca vrste *Gammarus pseudolimnaeus* sa normalnih 8 smanji na 7, drift se također smanji. Kod pH 5 aktivnost životinja je bila još relativno normalna, a ispod pH 5 drift se dramatično povećao, dostižući maksimum kod pH 4. Od pH 4 do pH 2,5 drift se smanji, a sve životinje su uginule pri pH 2,5 (Williams i Moore, 1982).

One išetnje pesticidima uzrokuje povećanje drifta, a drift može biti i pasivni mehanizam obrane kojim životinje izbjegavaju u inak one išetnje. Drift uzrokovan pojavom pesticida može dovesti i katastrofične razmjere, tako da čitave benthicke zajednice mogu nestati (Wiederholm, 1984).

Zagađenje vode teškim metalima životinje izbjegavaju tako da izlaze iz drifta, traže nezagađenu vodu, te ponovno ulaze u drift tek kad je voda opet ista. Prisutnost teških metala smanjuje raznolikost i gustoću faune bentosa, a time i broj životinja prisutnih u driftu (Swain i White, 1985).

Povećani salinitet vode može povećati drift jer životinje nastoje izbjeći uvjete stresa u okolišu. Smanjenje drifta zbog smanjene aktivnosti nekih benthickih životinja uslijed

fiziološkog stresa događa se pri najvišim mjerenim vrijednostima saliniteta. No nakon dugog razdoblja stabilnih okolišnih uvjeta nagla promjena saliniteta nema značajni utjecaj na promjenu drifta zbog brzog oporavka bentičke zajednice od uvjeta stresa (Silva i Davies, 1999). Dodatak 9000 mg/l natrijevog klorida u vodu povećalo je drift rakušca vrste *Gammarus pseudolimnaeus*, a do vrijednosti od 18000 mg/l soli drift se smanjivao, a iznad toga životinje su se prestale kretati i ugibale (Williams i Moore, 1982).

Drift je ovisan i o vrsti supstrata, tako da je veći i postotak bentičkih životinja koje ulaze u drift napuštaju i supstrat prekriven finim sedimentom. Vezano za sediment, drift ovisi i o broju i veličini intersticijskih prostora, a smanjenje veličine supstrata povećava drift, što rezultira smanjenjem gustoće bentosa (Sørensen i Jowett, 2001).

Podloga sa krupnijim šljunkom (promjera 31,5 mm) uzrokuje manji nego ni drift vrste *Gammarus pseudolimnaeus* nego podloga sa šljunkom srednje veličine (promjera 11 mm) ili sitnim šljunkom (promjera 3,4 mm). Na supstratu od srednjeg i sitnog šljunka drift se nije značajnije razlikovao (Williams i Moore, 1982).

### 1.3. Sezonske promjene drifta

Nizvodno kretanje beskralježnjaka nije konstantno, nego sezonski varira u godini. U umjerenom području drift je obično minimalan zimi. U tropskom i subtropskom području godišnje oscilacije nisu jako uočljive ili ne postoje (Brittain i Eikeland, 1988). U višim područjima, na primjer u Andama, drift je sličan u većini mjeseci, sa iznimkom u kišnoj sezoni kada je povećan (Turcotte i Harper, 1982).

Produkcija biomase i rata drifta u pozitivnoj su korelaciji, pa je zato drift u umjerenom području ljeti najveći, jer je i produkcija najveća. Iznimka je kasna zima i rano proljeće kada je zbog otapanja leda i povećanog protoka vode, i rata drifta visoka (Waters, 1966).

Do sada navedeni primjeri odnose se na razlike između toplih i hladnih sezona. Razlikujemo i sušna i kišna razdoblja. U tropskoj Australiji najveća rata drifta je u toku kišne sezone (Benson i Pearson, 1987). U neotropskom dijelu Srednje Amerike sezonske promjene izostaju jer vladaju slični uvjeti stresa kroz cijelu godinu, i u vlažnoj i u sušnoj sezoni (Ramirez i Pringle, 1998).

U sjevernim borealnim biomama rijeke i potoci su većinu vremena pokriveni ledom, pa postoji malo informacija o driftu toga područja (Svendsen i sur., 2004).

Rakušci (Amphipoda, Gammaridae) su općenito najaktivniji tijekom ljetnih mjeseci, pa je u većini istraživanja tada ustanovljen najveći drift (Lehmann, 1967; Meijering, 1977, 1980). Međutim, Elliott (2002) nije ustanovio pravilne sezonske promjene rate drifta kod vrste *Gammarus pulex*. Slično tome, ni kod rakušca vrste *Gammarus pseudosyriacus* nisu ustanovljene pravilne sezonske promjene drifta (Allan i sur., 1988).

#### 1.4. Endogeni ritmovi –regulacija dnevnog periodizama drifta

Nije potpuno jasan utjecaj endogenih ritmova životinja na drift i koliko su vanjski imbenici uzrok periodizma drifta. Endogeni ritmovi sigurno utječu do nekog stupnja, a djeluju usklađeno sa vanjskim okolišnim imbenicima, od kojih je najvažniji intenzitet svjetlosti (Waters, 1972).

Vanjski signal svjetla može nadjačati svaki endogeni ritam. Tako je Müller (1973 cit. iz Allan 1996) utvrdio da konstantna svjetlost polarnih ljeta može potpuno poremetiti ritam drifta ili čak u potpunosti zaustaviti drift, a može ga smanjiti i slaba svjetlost mjesečine (Anderson, 1966 cit. iz Allan 1996).

Müller (1966) je u svojim pokusima s ličinkama vodencvjetova roda *Baetis* i rakušcima vrste *Gammarus pulex* mijenjao ciklus izmjene dana i noći i tako da je umjetnim svjetlom znatno skratio razdoblje noći. U prvom eksperimentu dvije su vrste ličinki roda *Baetis* strogo pratile nametnuti ritam izmjene dana i noći. Stalna svjetlost rezultirala je nestankom drifta i endogenog ritma životinja, dok se u umjetnoj tami prirodni endogeni ritam drifta održao osam dana, a zatim izgubio. U drugom eksperimentu drift vrste *Gammarus pulex* također je slijedio umjetno određene cikluse dana i noći, a u konstantnoj tami se održao još jedan ciklus drifta u trajanju od jednog dana, a zatim je postao aritmičan.

Elliott (1968, 1970 cit. iz Allan, 1996) je u eksperimentu s različitim vrstama ličinki vodencvjetova roda *Baetis* pokušao dokazati postojanje endogenog ritma. Jedinke su zauzimale položaj na vrhu ili pri dnu kamenja s obzirom na to da li su negativno fototaksirale, a pojavljivanje na vrhu kamenja kontrolirano je svjetlošću kod pet vrsta ličinki. Kretanje ličinki se je nastavilo slijediti svoj originalni ritam i u potpunom mraku jer je to aktivnost pod endogenom kontrolom. Lehmann (1972 cit. iz Allan, 1996) je pratio kako se aktivnost ličinki tulara vrste *Potamophylax luctuosus* mijenja s razvojnim stadijima ličinki. U najranijem stadiju ličinke nisu izbjegavale svjetlost niti su bile više aktivne nego u



nego danju. Starije liinke su bile negativno fototaksisne, a na kraju razvoja su bile aktivne strogo noću te su zadržavale endogeni ritam i u potpunom mraku.

## 1. 5. Ciljevi istraživanja

Cilj ovog istraživanja, provedenog na potoku Stiper, smještenog u jugozapadnom području Kalnika, u razdoblju od godinu dana, od lipnja 2001. do lipnja 2002., bio je utvrditi kako se mijenja dnevni periodizam drifta vrste *Gammarus fossarum* s obzirom na dužinu dana i ostale fizikalno-kemijske imbenike tijekom godine. Osim toga, cilj je bio utvrditi sezonske promjene drifta ove vrste u odnosu na mjerene fizikalno-kemijske imbenike vode, temperaturu vode, koncentraciju i zasićenje vode kisikom, konduktivitet, alkalinitet, pH vrijednost te širinu i dubinu potoka (indirektne mjere protoka).

## 2. PODRUJE ISTRAŽIVANJA

**Potok Stiper** pritok je rijeke Bednje, a nalazi se u jugozapadnom području Kalnika u mjestu Moženec 6 km udaljenom od Varaždinskih Toplica. On ovdje formira duboku, usječenu dolinu izgrađenu od holocenskih nanosa koja se spaja s dolinom rijeke Bednje. To je mali potok, ogranak 2. reda, ukupne dužine oko 2,5 km. Ogranci 1. reda koji ga stvaraju dreniraju prema sjeverozapadu eksponiranu padinu prekrivenu šumom. U gornjem dijelu te padine razvijena je brdska bukova šuma, a ispod nje pojas šume hrasta kitnjaka i običnog graba. Velike površine prekrivene su umjetno sa enim šumama ariša (*Larix decidua*) i vajmutovog bora (*Pinus strobus*). Jedan od glavnih ogranaka 1. reda gotovo cijelom dužinom protječe kroz šumu ariša. Vrlo je značajno da se dva glavna izvora tog potoka koriste za opskrbu vodom cijelog okolnog kraja. Radi toga je razina vode i brzina strujanja u potoku znatno smanjena, a i mogućnost presušivanja potoka tijekom ljetnih suša je znatno povećana. Prema riječi mještana, prije izgradnje vodovoda potok nikada nije presušio, no nakon toga redovito je presušivao za vrijeme jakih ljetnih suša, što se dogodilo i u svibnju 2000. godine. Međutim, u godinama sa prosječnom količinom padalina ne presušuje. Razlika u nadmorskoj visini između izvorišnih dijelova i ušća potoka iznosi približno 190 m. Nagib ogranaka 1. reda je znatno veći (razlika u n.v. je oko 160 m) od glavnog toka potoka koji je blago položen (razlika u n.v. je oko 30 m). Svi ogranaci 1. reda protječu kroz šumu, dok glavni tok jednim dijelom svoje dužine teče uz rub šume, a donji tok protječe kroz livade. Kako su uz potok smještene svega 4 stalno nastanjene kuće koje ne ispuštaju otpadne vode u njega, utjecaj povjeka ograničen je na postojanje malih poljoprivrednih zemljišta u neposrednoj blizini toka.

### 2.1. Obilježja istraživane postaje

Istraživana postaja nalazi se na jednom od ogranaka 2. reda koji cijelom svojom dužinom protječe kroz bukovu šumu, na oko 200 m n.v. Glavni izvori tog ogranaka nalaze se otprilike 2 km uzvodno i kaptirani su. Radi se o vrlo malom pritoku (širine 10-80 cm i dubine 2-10 cm) gdje je brzina strujanja mala (Slika 1). Supstrat ovdje čine obluci, šljunak i pijesak, a na mjestima su također prisutne i valutice. Detritus (lišće i granje) nakuplja se najviše na većim preprekama kao što su većie grane i krupnije kamenje, ali i uz rub potoka.

Kako se radi o bujičnom tipu potoka na ovoj postaji promjene vodostaja su nagle i velike, tako da nakon obilnijih padalina nastaju ovdje vrlo jake bujice.



Slika 1: Istraživana postaja na ogranku potoka Stiper s drift klopom u studenom 2001. godine (foto: K. Žganec).

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1 Dinamika terenskih istraživanja

Istraživanje je provedeno u razdoblju od svibnja 2001. do lipnja 2002. god. Drift je praćen jedanput mjesečno, dok su fizikalno-kemijski imbenici mjereni uglavnom dva puta mjesečno. U prosincu 2001. god. izvršena su samo mjerenja fizikalno-kemijskih imbenika vode jer je debljina leda bila veća od 5 cm, a ispod njega je tekla vrlo mala količina vode temperature 0 °C. Pri takvim uvjetima nije bilo moguće postaviti drift klopku budući da bi došlo do smrzavanja vode u njoj.

#### 3.2 Metode terenskih istraživanja

##### 3.2.1 Mjerenje fizikalno-kemijskih imbenika vode

Fizikalno-kemijski imbenici vode mjereni su uglavnom dva puta mjesečno. Temperatura vode, koncentracija i zasićenje vode kisikom, električna provodljivost i pH vrijednost mjereni su pomoću WTW sonde. Alkalinitet je određen titracijom 100 mL vode s 0,1 M HCl uz metil-orange kao indikator sa završnom točkom titracije kod pH = 4,3, a izražavan je u mg CaCO<sub>3</sub>L<sup>-1</sup>.

##### 3.2.2 Metode mjerenja drifta na istraživanoj postaji potoka Stiper

Za praćenje drifta na postaji P4 jedanput mjesečno u razdoblju od godine dana (od svibnja 2001. do lipnja 2002.) upotrebljena je drift klopka dizajnirana prema Geodmakers (1980). Klopka je izrađena od aluminijske cijevi, u obliku lijevka, dužine 69 cm, širine prednjeg pravokutnog otvora 42 cm, visine 16,2 cm s izmjenjivom mrežom (Ø200 µm) na stražnjem kraju širokom 18 cm i dužine 70 cm (Slika 2).



Slika 2: Drift klopka na istraživanoj postaji u svibnju 2002. godine (Foto: K. Žganec).

Klopka je postavljena svaki mjesec na istom mjestu, a zbog male širine potoka, bilo je u većini slučajeva moguće potpuno pregraditi tok i na taj način pratiti ukupni drift rakušaca. Radi određivanja dnevno-noćnih promjena drifta, mreže su pražnjene svakih 4 sata s početkom (najčešće) u 12h tijekom 24 sata. Uzorci drifta pohranjivani su u 4% formalinu.

### 3.3 Laboratorijska obrada uzoraka

Laboratorijska obrada uzoraka obavljena je tijekom razdoblja od 11.4.2007. do 30.1.2008. Nakon ispiranja uzoraka koji su bili pohranjeni u 4%-tnom formalinu istom vodom beskralješnjaci su razvrstani po skupinama i pohranjeni u 75%-tnom alkoholu. Na istraživanoj postaji potoka Stiper od rakušaca (Gammaridae: Amphipoda) prisutna je jedino vrsta *Gammarus fossarum* (KOCH 1835). Jedinke vrste *Gammarus fossarum* izolirane su iz uzoraka i razvrstane po datumima i intervalima, kao i ostale skupine beskralješnjaka. Pri laboratorijskom istraživanju korištena je binokularna lupa Pro-lux XTL 3400D s povećanjima od 7 do 45×. Bilježen je i broj svlakova rakušaca i ostalih skupina beskralješnjaka.

### 3.4 Statisti ka obrada podataka

Za statisti ku obradu podataka i tabli ni prikaz rezultata korišteni su programi Microsoft Office Excel 2002 i Statistica 7.1 (Statsoft Inc., 2002). Distribucija rezultata grafi ki je prikazana “box – whisker” tipom dijagrama s izraženim minimumom, maksimumom i srednjom vrijednoš u.

Povezanost pojedinih fizikalno-kemijskim imbenika kao i odnos fizikalno-kemijskih imbenika i rate drifta rakušaca i svlakova, testirani su pomo u Pearsonovog indeksa korelacije, a zna ajnost indeksa korelacije testirana je pomo u t-testa. Pritom su korišteni programi Microsoft Office Excel 2002 i Statistica 7.1. Od opisnih statisti kih pokazatelja za iskazivanje rezultata korišteni su: N-broj mjerenja, min- minimum, max- maksimum,  $\bar{x}$ - aritmeti ka sredina, s-standardna devijacija i koeficijent varijacije ( $CV\% = 100 * s / \bar{x}$ ).

## 4. REZULTATI

### 4.1 Fizikalno-kemijski imbenici u potoku Stiper

Svi mjereni fizikalno-kemijski imbenici prikazani su s aritmetičkom sredinom, rasponom, koeficijentom varijacije i brojem mjerenja u Tablici 1. Ogranak drugog reda potoka Stiper na kojem se nalazi istraživana postaja i na mjestu gdje je postavljena drift klopka bio je širine od 10 cm u kolovozu 2001. god., kada je skoro presušio, do maksimalno 120 cm u velja i 2002. god. (N=16). U kolovozu 2001. god. dubina, također, dostiže svoj minimum od 1 cm, a u velja i 2002. god. maksimum od 15 cm. Minimalne temperature zraka i vode mjerene su u prosincu 2001. god. s vrijednostima -5 °C i 0 °C, a maksimalne u kolovozu 2001. god., s vrijednostima 23,3 °C i 19,3 °C. Aritmetička sredina temperature vode iznosila je 10,1 °C. Minimalna koncentracija kisika od ukupno 18 mjerenja iznosila je 7,8 mgL<sup>-1</sup> i izmjerena je u lipnju 2002. god., a maksimalna 14,4 mgL<sup>-1</sup> u rujnu 2001. god. s aritmetičkom sredinom 10,9 mgL<sup>-1</sup>. Minimum zasićenja kisikom od 79 % zabilježen je u prosincu 2001. god., a maksimum od 144% u rujnu 2001. god. Aritmetička sredina 18 mjerenja iznosila je 98,3 %. Konduktivitet je varirao od 242 μScm<sup>-1</sup> u velja i 2002. god. do maksimalnih 471 μScm<sup>-1</sup> u lipnju 2002. god. s aritmetičkom sredinom 336,3 μScm<sup>-1</sup>. Za ukupno 5 mjerenja alkaliniteta aritmetička sredina je iznosila 220 mgCaCO<sub>3</sub>L<sup>-1</sup>. pH vrijednost je varirala od 7,97 u velja i 2002. god. do maksimuma od 8,96 u rujnu 2001. god. s aritmetičkom sredinom 8,24.

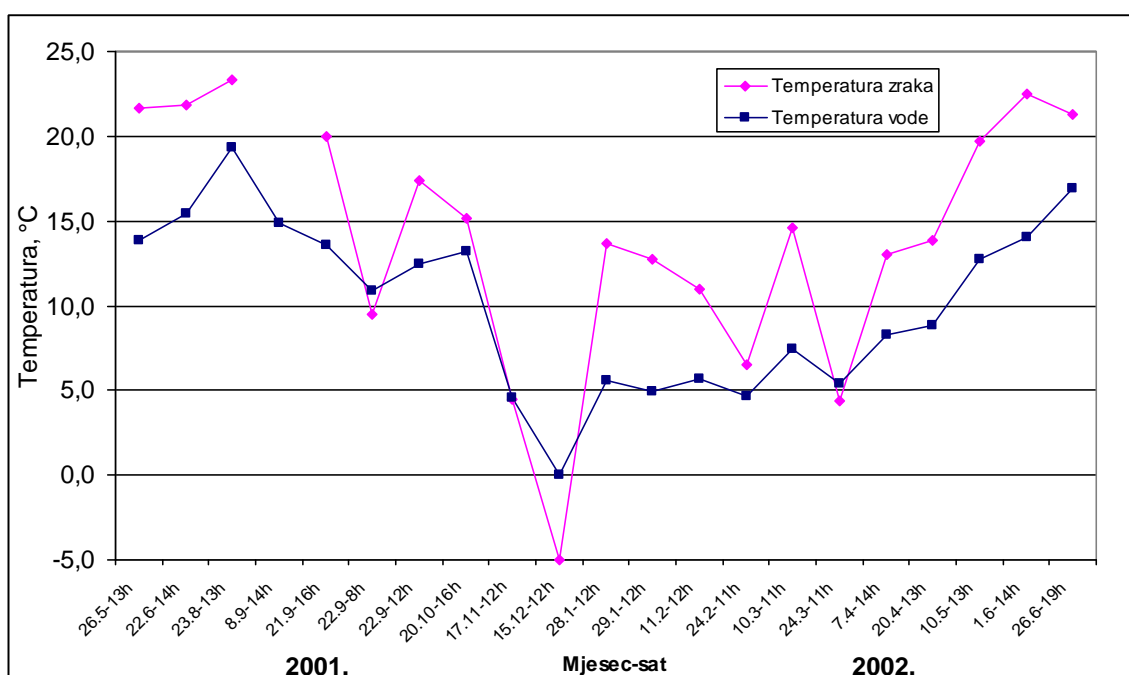


Tablica 1. Fizikalno-kemijski imbenici vode na istraživanoj postaji ogranka potoka Stiper tijekom cijelog istraživanja. Prikazane su aritmetičke sredine, minimumi, maksimumi, koeficijenti varijacije (CV) i ukupni broj mjerenja (N).

	MIN	ARIT SREDINA	MAX	CV, %	N
Širina (cm)	10,0	65,6	120,0	45,4	16
Dubina (cm)	0,5	3,9	15,0	83,6	16
Temperatura, °C	0,0	10,1	19,3	49,8	21
Koncentracija kisika (mgL-1)	7,8	10,9	14,4	14,5	18
Zasićenje kisikom (%)	79,0	98,3	144,0	13,7	18
Konduktivitet ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	242,0	336,3	471,0	27,1	13
Alkalinitet ( $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$ )	167,5	220,0	237,5	13,5	5
pH	7,97	8,24	8,96	3,5	11

#### 4.1.1. Temperatura vode

Temperatura vode na istraživanoj postaji potoka Stiper varirala je od minimalnih 0 °C u prosincu 2001. god. kada je došlo do gotovo potpunog smrzavanja vode u potoku (debljina leda 5 cm), do maksimuma 19,3 °C u kolovozu 2001. god. (Tablica 1, Slika 3). Zbog malog protoka vode temperatura vode jasno slijedi temperaturu zraka, a to potvrđuje i vrlo velik pozitivan i statistički značajan ( $p < 0,001$ ) Pearsonov indeks korelacije koji je iznosio 0,89. Izmjerena temperatura zraka varirala je od minimalnih -5 °C u prosincu 2001. god. do maksimalnih 23,3 °C u kolovozu 2001. god.

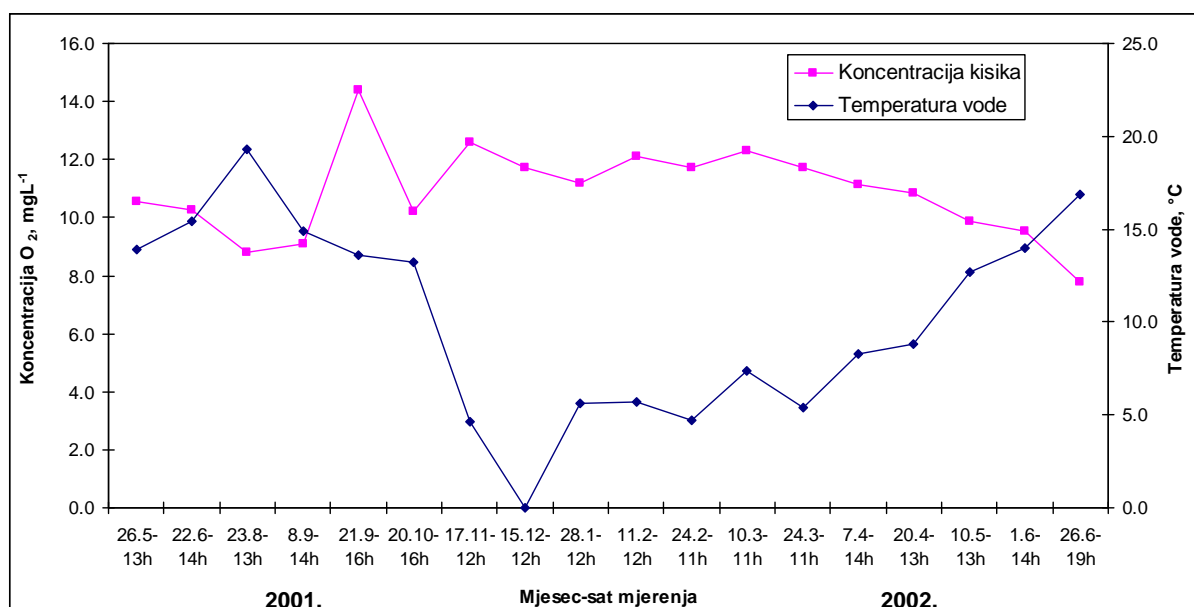


Slika 3: Temperature vode i zraka tijekom cijelog istraživanja na potoku Stiper (N=21) od svibnja 2001. godine do lipnja 2002. godine.

#### 4.1.2. Koncentracija i zasićenje kisikom

Najveća koncentracija kisika od  $14,4 \text{ mg l}^{-1}$  izmjerena je rujnu 2001. god., a najniža,  $7,8 \text{ mg l}^{-1}$ , u lipnju 2002. godine. Koncentracija kisika je u negativnoj korelaciji s temperaturom vode (Slika 4), što znači da koncentracija kisika pada s povećanjem temperature. Pearsonov indeks korelacije bio je vrlo statistički značajan ( $p < 0,001$ ) i iznosio je  $-0,90$ . Aritmetička sredina vrijednosti koncentracije kisika od ukupno 18 mjerenja iznosi  $10,87 \text{ mg l}^{-1}$  (Tablica 1).

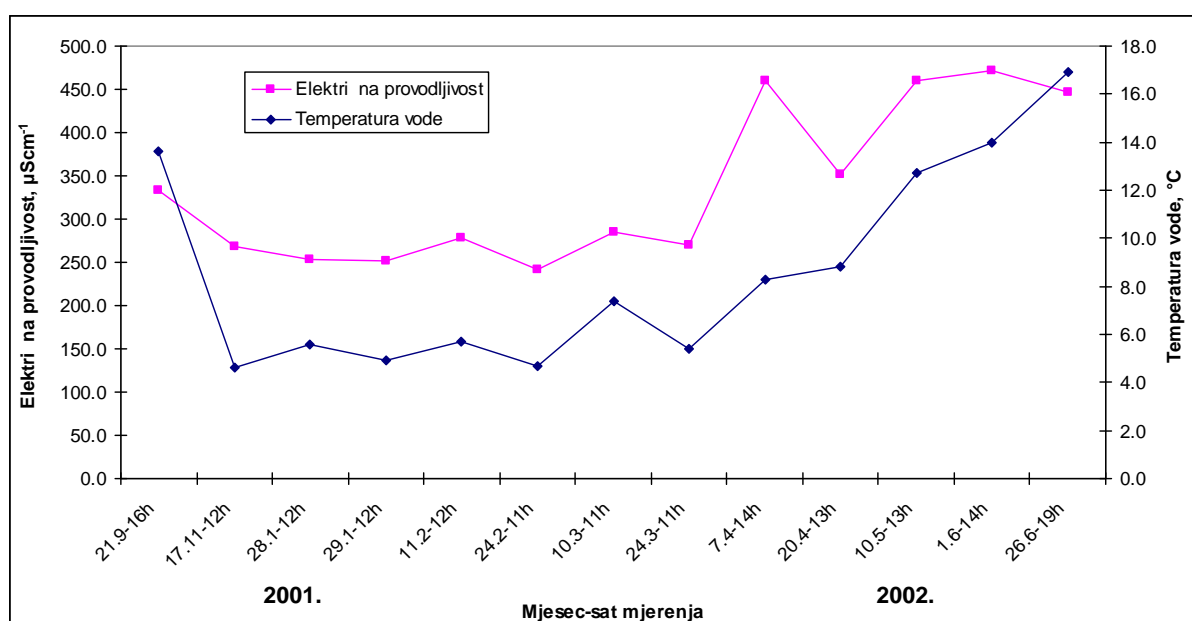
Maksimalna izmjerena vrijednost zasićenja vode kisikom je 144 % u rujnu 2001. god., a minimalna vrijednost je 79% u prosincu 2001. god. Aritmetička sredina zasićenja vode kisikom za ukupno 18 mjerenja tijekom istraživanja iznosi 98,3% (Tablica 1). Pearsonov indeks korelacije između zasićenja kisikom i temperature vode je bio 0,28 što govori o slabij povezanosti.



Slika 4: Koncentracija kisika i temperature vode na potoku Stiper tijekom razdoblja od svibnja 2001. godine do lipnja 2002. godine (N=18).

### 4.1.3. Elektri na provodljivost

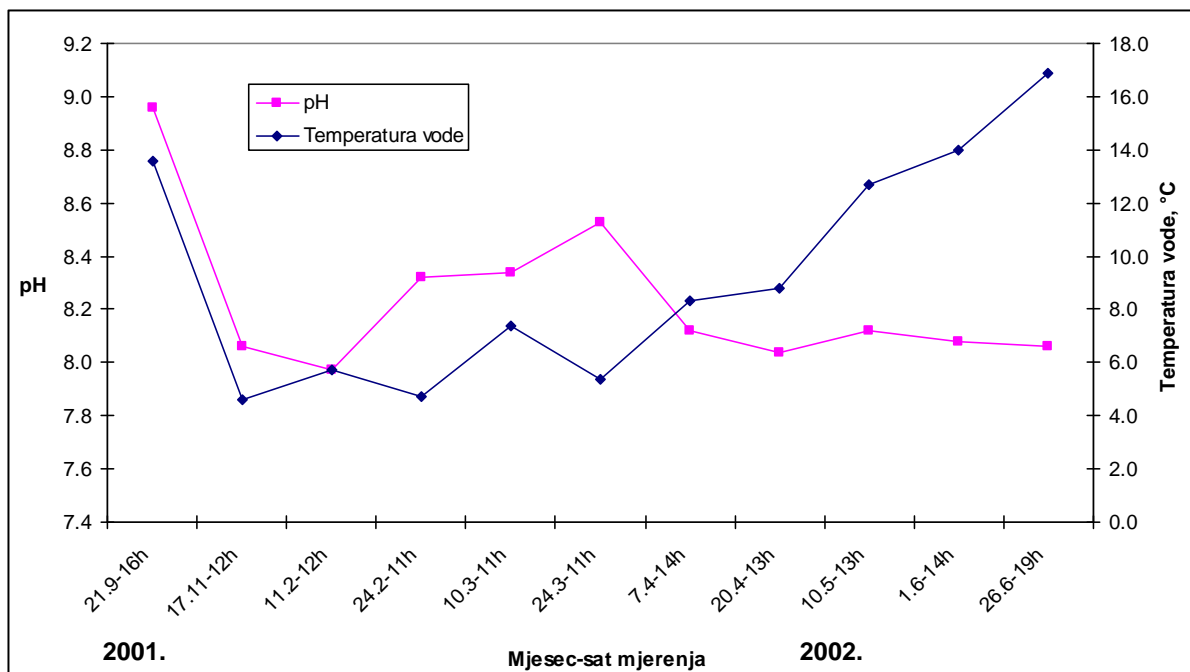
Maksimalna vrijednost elektri ne provodljivosti, koja je proporcionalna s koli inom otopljenih tvari u vodi, izmjerena je u lipnju 2002. god., a iznosila je  $471 \mu\text{Scm}^{-1}$ , dok je minimalna vrijednost od  $242 \mu\text{S cm}^{-1}$  izmjerena u velja i 2002. god. Aritmeti ka sredina vrijednosti od ukupno 13 mjerenja iznosila je  $336,3 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Tablica 1). Može se uo iti lagani trend smanjenja elektri ne provodljivosti u hladnijem dijelu godine i trend pove anja u toplijem dijelu godine (Slika 5). Zabilježena je vrlo statisti ki zna ajna pozitivna korelacija temperature i elektri ne provodljivosti ( $r=0,84$ ,  $p=0,001$ ).



Slika 5: Elektri na provodljivost i temperatura vode na istraživanoj postaji u potoku Stiper tijekom razdoblja od rujna 2001. do lipnja 2002. godine (N=13)

#### 4.1.4. pH vode

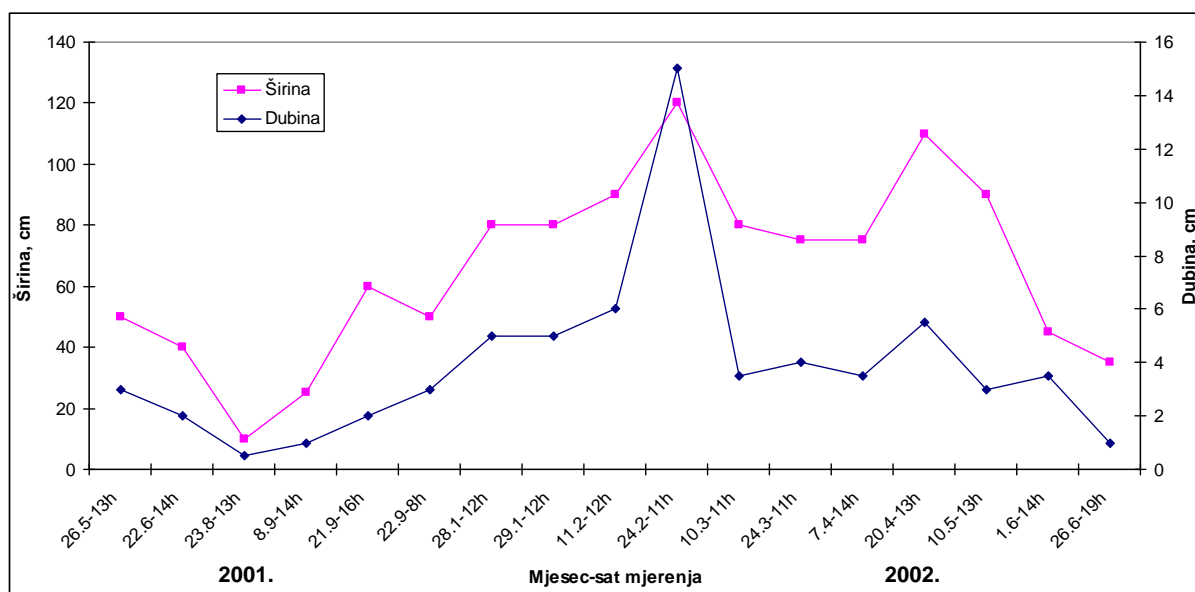
Izmjerene su pH vrijednosti u rasponu od 7,97 do 8,96. Maksimalna vrijednost izmjerena je u rujnu 2001. god., a minimalna u studenome 2001. god. Aritmetička sredina vrijednosti od ukupno 11 mjerenja iznosi 8,24 (Tablica 1, Slika 6). Temperatura vode i pH nisu bili povezani jer je Pearsonov indeks iznosio 0,07.



Slika 6: pH i temperatura vode na istraživanoj postaji u potoku Stiper u rujnu i studenom 2001. te od veljače do lipnja 2002. godine (N=11).

#### 4.1.5 Širina i dubina potoka na mjestu postavljanja drift klopke

Širina potoka varira od 10 cm u kolovozu 2001. god. kada je potok gotovo presušio, do maksimalno 120 cm u velja i 2002. god. Dubina dostiže svoj minimum od 1 cm u kolovozu 2001. god., a u velja i 2002. god. maksimum od 15 cm. Zabilježena je pozitivna korelacija dubine i širine što potvrđuje i vrlo statistički značajan Pearsonov indeks korelacije od 0,78 ( $p < 0,001$ ) (Tablica 1, Slika 7).

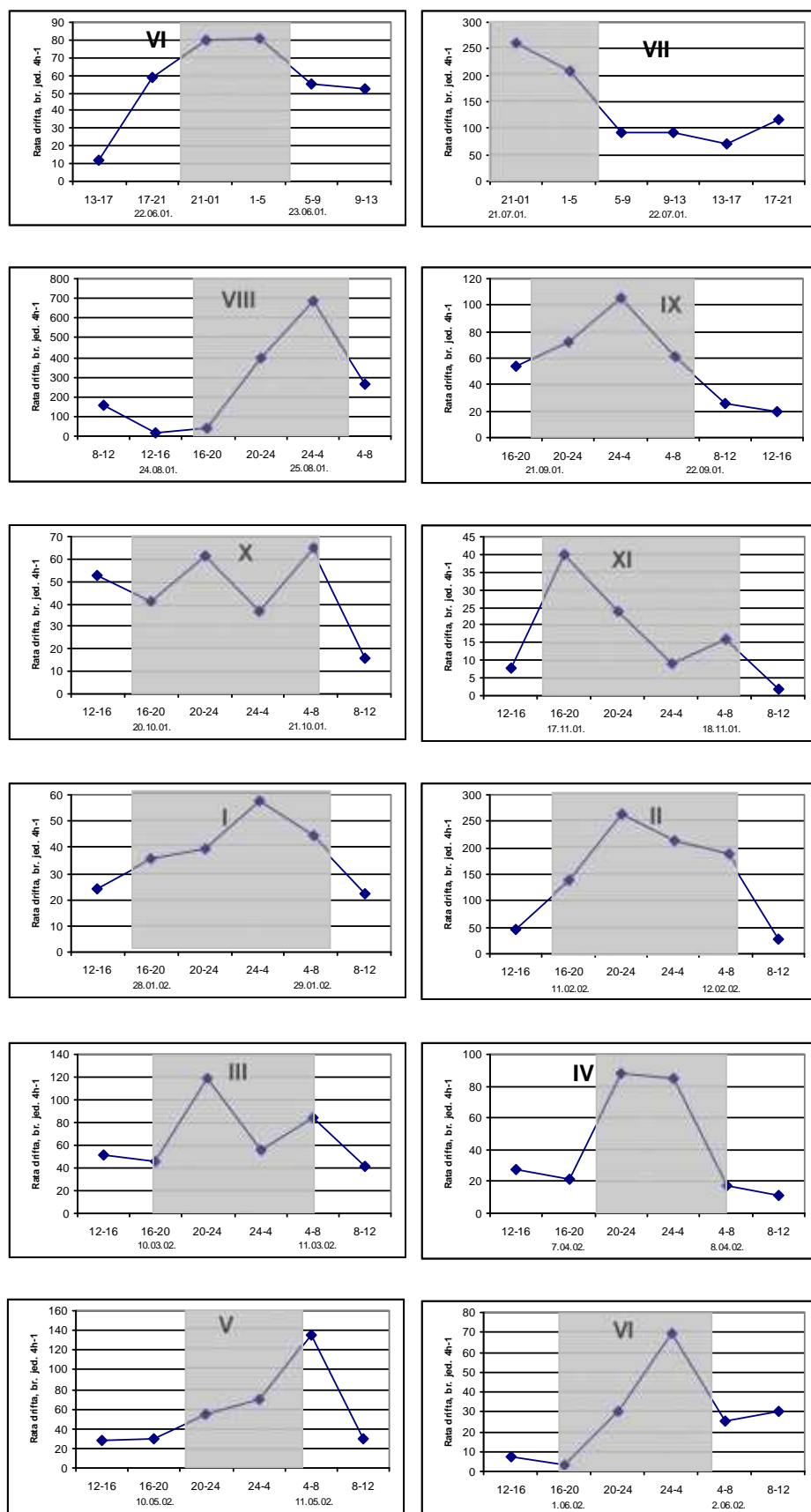


Slika 7: Širina i dubina potoka na mjestu postavljanja drift klopke na istraživanoj postaji u potoku Stiper tijekom razdoblja od u lipnja 2001. do lipnja 2002. godine (N=16).

## 4.2 Drift vrste *Gammarus fossarum* na istraživanoj postaji potoka Stiper

### 4.2.1. Dnevne promjene drifta vrste *Gammarus fossarum*

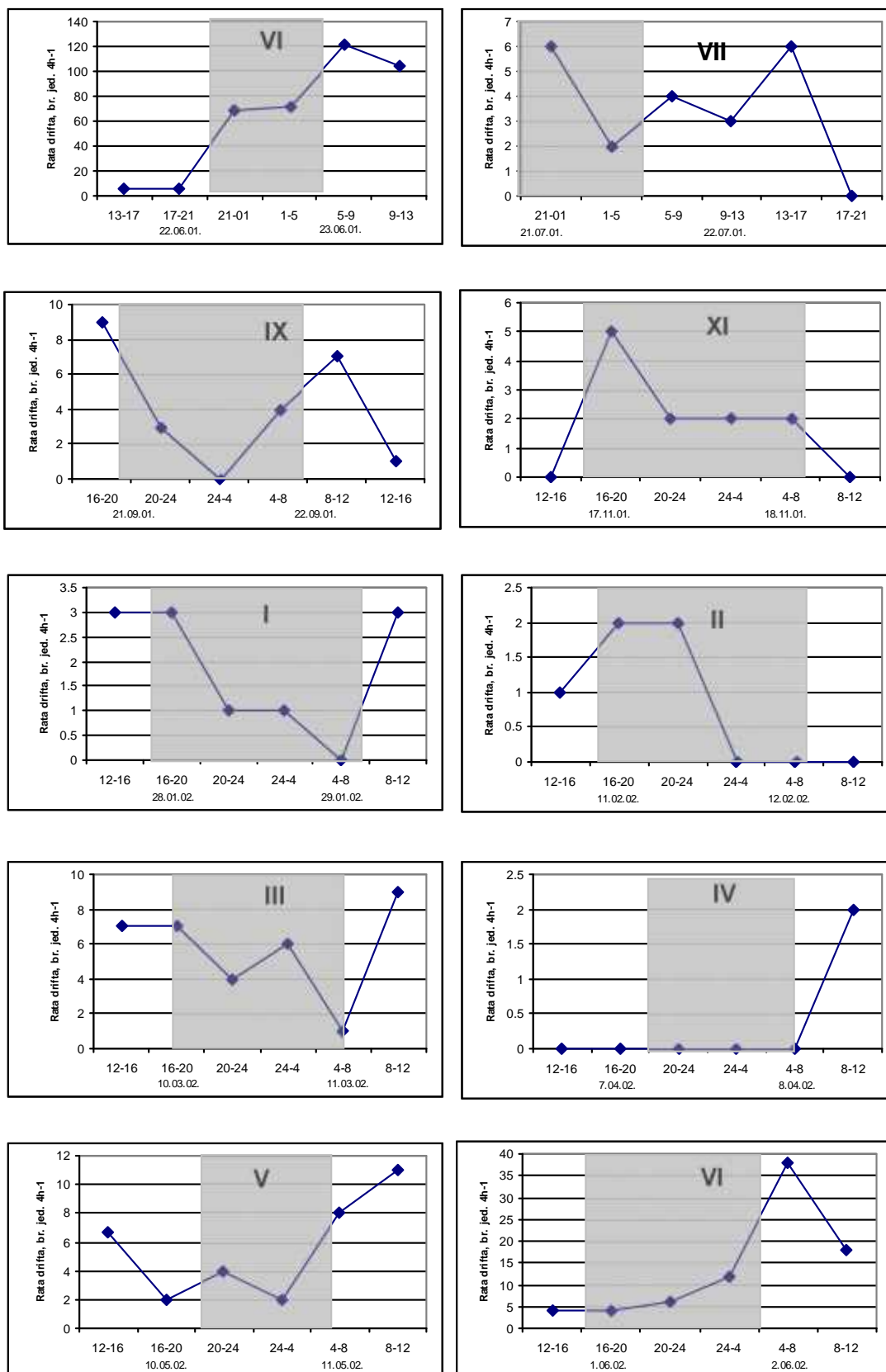
U svim mjesecima u kojima je mjeren (u prosincu drift nije mjeren jer je potok bio zaleđen) drift rakušaca bio je najveći i tijekom noći (Slika 8). U ljetnim mjesecima zabilježen je jedan karakteristični vrhunac tokom noći, i to u vremenskom intervalu od 21-1 sat u srpnju, od 24-4 sata u kolovozu i rujnu 2001. god., te u intervalu od 1-5 sati u lipnju 2001. god. Kako noć postaje znatno dulja, u jesenskim mjesecima drift ima dva karakteristična vrhunca tijekom noći. U listopadu jedan vrhunac pojavljuje se u intervalu 20-24 sata, a drugi u intervalu 4-8 sati. U studenom je znatno veći vrhunac je postignut tijekom intervala uoči sumraka od 16-20 sati, a onaj manji tijekom intervala prije zore od 4-8 sati. To je tipični bigemni obrazac drifta. Međutim, u siječnju i veljači 2002. god. zabilježen je samo jedan noćni vrhunac. Intervali s vrhuncima drifta bili su 24-4 u siječnju i 20-24 u veljači. Moguće je da je na drift u veljači najviše utjecao veliki protok vode, pošto je izmjerena maksimalna širina potoka, 120 cm, i maksimalna dubina od 15 cm. U ožujku su dva noćna vrhunca, u intervalima 20-24 i 4-8 sati. U travnju 2002. god. je vidljivo znatno skraćenje noći te je zabilježen jedan vrhunac tijekom intervala 20-24 sata. U svibnju 2002. god. puno je izraženiji jedan vrhunac, uoči zore, a sliče noći je i u lipnju 2002. god., gdje se vrhunac pojavljuje ranije, u intervalu 24-4 sata (Slika 8).



Slika 8: Dnevne promjene drifta rakušca *Gammarus fossarum* tijekom dvanaest mjeseci na istraživanoj postaji potoka Stiper sa zatamnjanim dijelom koji predstavlja no .



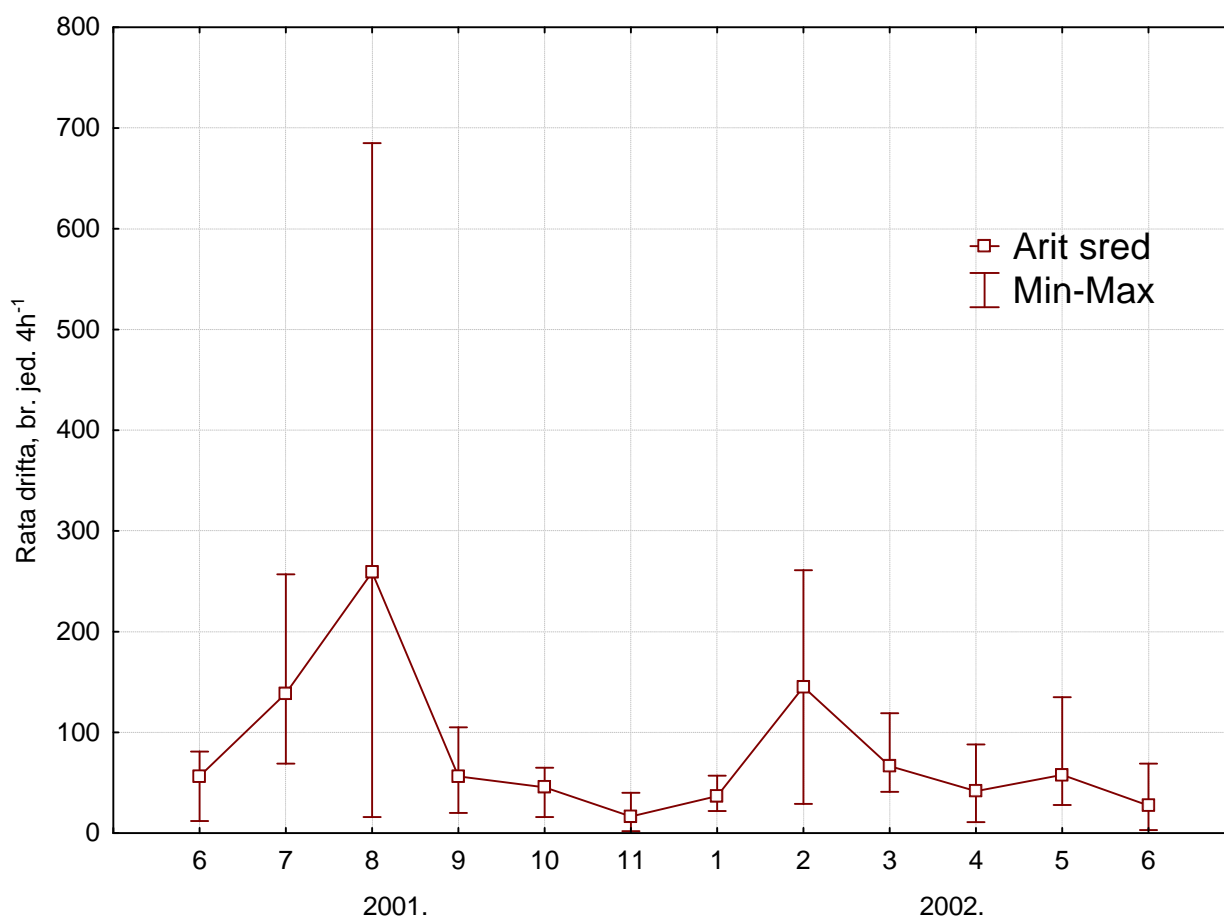
Za svlakove vrijedi druga iji dnevni obrazac pojavljivanja u driftu. U ljetnim i proljetnim mjesecima drift svlakova je bio ve i danju, s iznimkom u srpnju 2001. god. kada postoje dva jednaka vrhunca (jedan tijekom dana u intervalu 13-17, a drugi tijekom no i u intervalu 21-1 sat). U zimskim mjesecima drift svlakova bio je ve i tijekom no i. U lipnju 2001. god. i lipnju 2002. god. vrhunac drifta svlakova se javlja u sli nim intervalima, 5-9 sati i 4-8 sati. U rujnu 2001. god. dva su dnevna vrhunca drifta svlakova (popodnevni i jutarnji), a u studenome postoji samo jedan no ni vrhunac, u intervalu 16-20 sati. U sije nju je u razdoblju 8-20 sati drift svlakova primjetno ve i nego poslije 20 sati, a nije bilo svlakova u driftu tijekom intervala 4-8 sati. U velja i drift svlakova je najve i od 16-24 sata dok svlakovi izostaju u intervalima od 0 do 12 sati. U ožujku, travnju i svibnju 2002. god. interval s maksimalnim driftom svlakova je 8-12 sati, s time da je u travnju to jedini interval kada su svlakovi uop e na eni u driftu. U kolovozu i listopadu 2001.god. potpuno izostaju svlakovi iz drifta (Slika 9).



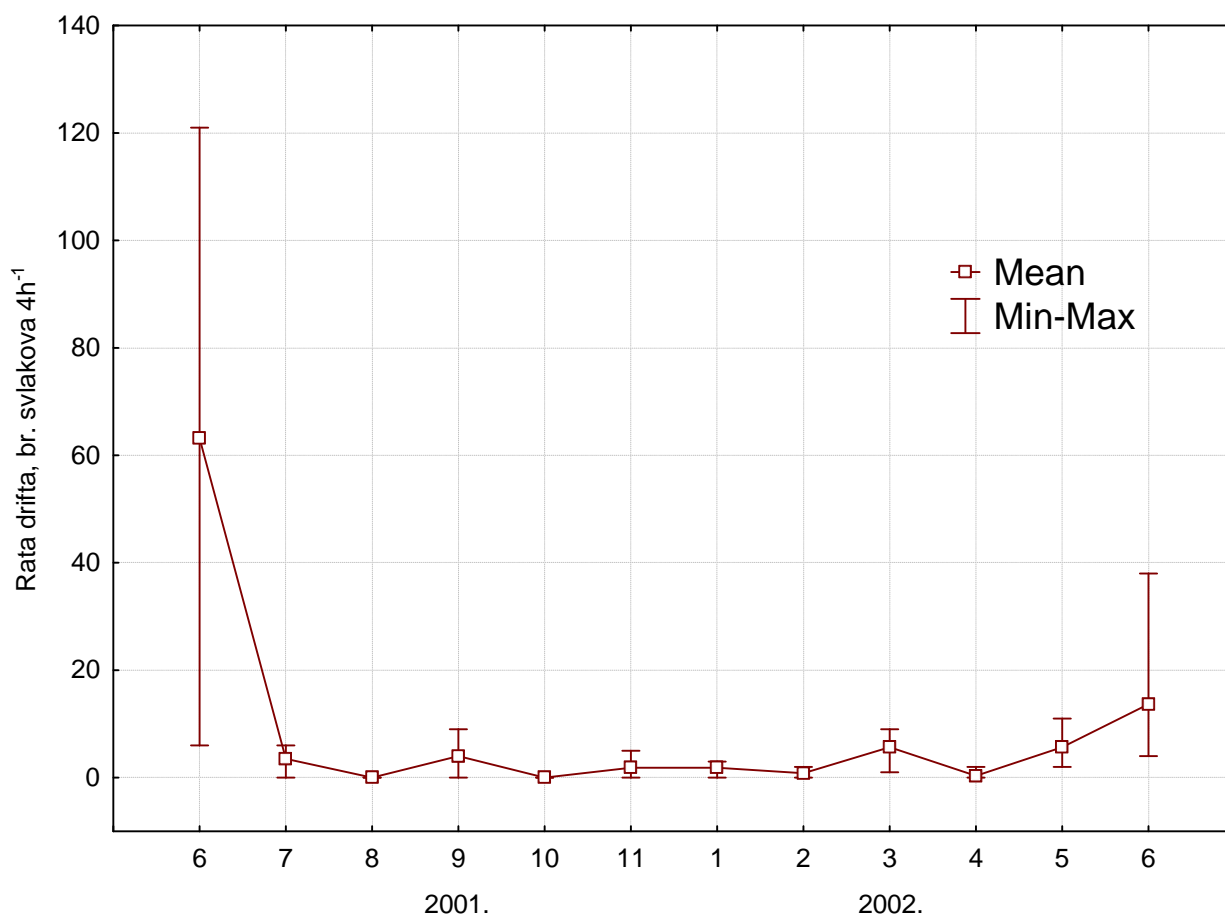
Slika 9: Dnevne promjene drifta svlakova rakušca *Gammarus fossarum* tijekom deset mjeseci (u kolovozu i listopadu nije bilo svlakova u driftu) na istraživanoj postaji potoka Stiper sa zatamnjenim dijelom koji predstavlja no .

#### 4.2.2. Sezonske promjene drifta vrste *Gammarus fossarum*

Najveća i srednja rata drifta rakušca *Gammarus fossarum* zabilježena je u kolovozu 2001. god. s maksimumom 685 jed.4h<sup>-1</sup> i minimumom 16 jed.4h<sup>-1</sup>, te aritmetičkom sredinom 259 jed.4h<sup>-1</sup>. Najmanja rata drifta izmjerena je u studenom 2001. god., s maksimumom 40 jed.4h<sup>-1</sup>, minimumom 2 jed.4h<sup>-1</sup> i aritmetičkom sredinom 16,5 jed.4h<sup>-1</sup>. Postoji jedan manji vrhunac drifta u veljači 2002. god. koji su minimum i maksimum 29 jed.4h<sup>-1</sup> i 261 jed.4h<sup>-1</sup>, a aritmetička sredina 145,2 jed.4h<sup>-1</sup> (Slika 10).



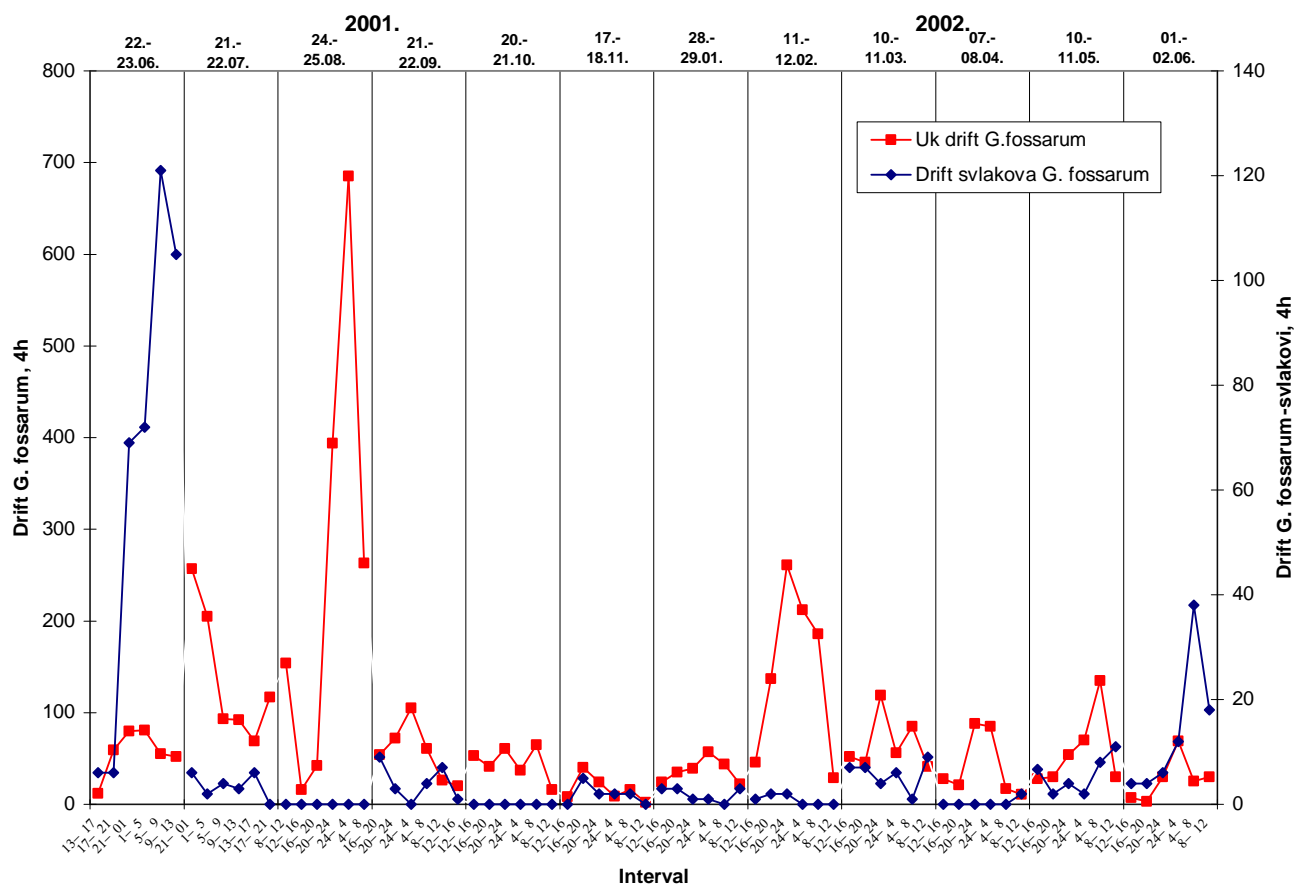
Slika 10: Srednje (minimalne i maksimalne) dnevne rate drifta rakušca *Gammarus fossarum* tijekom dvanaest mjeseci na istraživanoj postaji potoka Stiper.



Slika 11: Srednje (minimalne i maksimalne) dnevne rate drifta svlakova rakušca *Gammarus fossarum* tijekom dvanaest mjeseci na istraživanoj postaji potoka Stiper.

Rata drifta svlakova najveća je u lipnju 2001. god. s maksimumom od 121 svlaka 4h<sup>-1</sup>, minimumom 6 svl.4h<sup>-1</sup> i aritmetičkom sredinom 63,2 svl.4h<sup>-1</sup>. U kolovožu i listopadu svlakovi izostaju iz drifta. U lipnju 2002. god. može se primjetiti drugi manji vrhunac rate drifta svlakova, sa aritmetičkom sredinom 13,7 jed.4h<sup>-1</sup>, te minimumom i maksimumom od 4 svl.4h<sup>-1</sup> i 38 svl.4h<sup>-1</sup> (Slika 11).

Rate drifta rakušaca i svlakova imaju različiti dnevni i sezonski periodizam. Maksimumi i minimumi rate drifta rakušaca i svlakova nisu zabilježeni u istim mjesecima što se dobro vidi na Slici 12.



Slika 12: Ukupni drift vrste *Gammarus fossarum* i drift svlakova u svim mjerenim dnevnim intervalima tijekom cijelog istraživanog razdoblja.

### 4.2.3. Utjecaj abioti kih imbenika na dnevne i sezonske promjene drifta vrste *Gammarus fossarum*

Na dnevne promjene drifta vrste *Gammarus fossarum* utječe dužina noći. Što je dužina noći veća, veći je broj vrhunaca drifta. Dužina trajanja noći/dana tijekom pojedinih dana kad je provedeno istraživanje prikazuje Tablica 2. U kratkim ljetnim i proljetnim noćima ima primjetno jedan vrhunac drifta, a u dužim jesenskim i zimskim noćima zabilježena su uglavnom dva vrhunca drifta, iako je u siječnju i veljači, kad su noći trajale najdulje zabilježen samo po jedan vrhunac.

Povećani drift rakušaca u veljači, kada je izmjeren drugi, manji vrhunac rate drifta (Slika 10), vjerojatno je uzrokovan povećanim protokom vode. Naime, u veljači je izmjerena i maksimalna širina (120 cm) i dubina potoka (15 cm) (Slika 7). Međutim, Pearsonovi indeksi korelacije rate drifta i dubine te rate drifta i širine potoka su negativni (Tablica 3) jer je drift bio povećan tijekom toplijih mjeseci kada su širina i dubina potoka, tj. protok bili smanjeni.

Temperatura vode pozitivno utječe na sezonske promjene drifta, na što ukazuje najveći i pozitivan Pearsonov indeks korelacije koji iznosi 0,50 (Tablica 3). Također, rata drifta bila je najveća u kolovozu kad je zabilježena najveća srednja vrijednost rate drifta ( $259 \text{ jed.4h}^{-1}$ ), a i temperatura vode je tada dostigla godišnji maksimum ( $19,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). U studenome je zabilježena minimalna srednja vrijednost rate drifta ( $16,5 \text{ jed.4h}^{-1}$ ), a tada je zabilježena najniža temperatura vode ( $4,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (ako izuzmemo prosinac kada drift nije bio mjeren zbog zaleđivanja potoka) (Slika 3 i Slika 11).

U najdužim noćima, u studenome, siječnju i veljači, rata drifta svlakova ima vrhunac noću. U ostalim mjesecima drift svlakova najveći je danju (Slika 9). Čini se, dakle, da se rakušci presvlače više tijekom dana kada su aktivnost kretanja i ulazak u drift smanjeni.

Sezonske promjene drifta svlakova su u najjačem pozitivnom odnosu s električnom provodljivošću ( $r=0,50$ ) i temperaturom ( $r=0,28$ ) (Tablica 3). Maksimalna rata drifta svlakova se poklapa s maksimumom električne provodljivosti u lipnju 2002. god. Temperatura vode je u slabom pozitivnom odnosu s driftom svlakova, no budući da su veće rate drifta svlakova uglavnom zabilježene u toplijim mjesecima (osim u kolovozu kada svlakovi nisu na dnu) temperatura je vjerojatno najvažniji imbenik koji regulira sezonske promjene drifta svlakova.

Tablica 2. Prikaz trajanja dana i noći za sve mjesece u kojima je drift mjeren u 2001. i 2002. godine.

Godina	2001.						2002.					
Mjesec	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6
No	8:17	8:28	9:20	10:52	13:12	14:30	14:57	13:37	11:48	9:59	9:01	8:10
Dan	15:43	15:32	14:40	13:08	10:48	9:30	9:03	10:23	12:12	14:01	10:59	9:50

Tablica 3. Pearsonovi indeksi i p-vrijednosti korelacije drifta rakušca *Gammarus fossarum* i svih mjerenih fizikalno-kemijskih imbenika vode tijekom istraživanog razdoblja u potoku Stiper.

		Temp. Vode	Konc. O <sub>2</sub>	Zasić. O <sub>2</sub>	El. provod.	pH	Širina	Dubina
Drift rakušaca	Pearson r	0,50	-0,38	-0,04	-0,25	-0,11	-0,55	-0,32
	p-vrijednost	0,100	0,218	0,899	0,544	0,812	0,062	0,315
Drift svlakova	Pearson r	0,28	-0,17	0,08	0,50	0,01	-0,30	-0,20
	p-vrijednost	0,375	0,600	0,798	0,208	0,978	0,341	0,542

Zabilježena je također slaba negativna korelacija drifta rakušaca i koncentracije kisika ( $r=-0,38$ ) te još slabija negativna korelacija drifta svlakova i koncentracije kisika ( $r=-0,17$ ). Međutim, budući da je koncentracija kisika i temperatura vode u statistički značajnom negativnom odnosu, negativni odnos koncentracije kisika i drifta vjerojatno je indirektna posljedica utjecaja temperature. Zasićenje kisikom i pH nisu povezani sa driftom rakušaca ni sa driftom svlakova. Širina i dubina su u negativnoj korelaciji s driftom, a oba ova indirektna pokazatelja protoka jače su negativno utjecali na drift rakušaca, nego na drift svlakova (Tablica 3).

## 5. RASPRAVA

Uzorci drifta rakušca *Gammarus fossarum* sakupljani su u razdoblju od svibnja 2001. do lipnja 2002. god. na postaji malog ogranka drugog reda potoka Stiper, pritoka rijeke Bednje u blizini Novog Marofa (Varaždinska županija). Uzorkovanje je provedeno jedanput mjesečno, a drift klopka je svaki puta postavljena na istom mjestu u potoku. Potok je, zbog male širine, u većini slučajeva bio cijeli pregraben drift klopkom pa je prednost ovog istraživanja u tome što je pronađen ukupan drift rakušaca. Uzorci drifta sakupljani su svaka 4 sata, a rezultati su prikazani kao rata drifta, tj. ukupan broj jedinki u driftu u jedinici vremena (4h ili 24 h). Idealno bi bilo da su uzorci sakupljani kontinuirano, svaki dan u određenom razdoblju, budući da bi tako bilo moguće bolje utvrditi vremensku varijabilnost drifta, kao što je to uspio Elliott (2002). Međutim, zbog velike brojnosti rakušaca u uzorcima, kao i fizičkih ograničenja istraživača, nije bilo moguće često sakupljanje uzoraka.

Fizikalno-kemijski imbenici mjereni su uglavnom dva puta mjesečno, za vrijeme sakupljanja uzoraka drifta i otprilike u sredini mjesečnih intervala između dva uzorkovanja. Od fizikalno-kemijskih imbenika mjereni su temperatura vode i zraka, koncentracija i zasićenje vode kisikom, električna provodljivost, alkalinitet, pH, širina i dubina potoka (Tablica 1), a zabilježena je i dužina trajanja noći (Tablica 2), s ciljem da se utvrdi utjecaj tih imbenika na ratu drifta rakušca *G. fossarum*.

Rakušci vrste *G. fossarum* u svim mjesecima istraživanja više ulaze u drift nego danju (Slika 8). Da su rakušci porodice Gammaridae više aktivni noću u potvrdu i druga istraživanja (Waters, 1962; Müller, 1966; Elliott, 2002). U ovom istraživanju pojavljivanje vrhunaca rate drifta bilo je poprilično varijabilno te su zabilježeni i bigemni (jedan vrhunac uoči sumraka i jedan manji prije zore) i alternirajući (manji vrhunac uoči sumraka i već i prije zore) obrazac drifta, ali i druga dva obrasci s jednim ili dva noćna vrhunca drifta. Budući da trajanje intervala uzorkovanja može znatno utjecati na opaženi broj i raspored vrhunaca drifta (Allan, 1996), vjerojatno bi se utvrdio nešto drugačiji dnevni periodizam da je uzorkovanje bilo u kraćim intervalima. Međutim, na osnovi ovog istraživanja i rezultata drugih autora (npr. Goedmakers i Pinkster, 1981) se može zaključiti da je dnevni periodizam aktivnosti rakušaca, koji uzrokuje ulazak u drift, prilično varijabilan. Također treba istaknuti da je drift rakušaca bio zabilježen kroz sve mjerene intervale tijekom svih mjeseci tijekom provedenog istraživanja te se nije dogodilo da u nekim intervalima životinje potpuno izostanu iz drifta kao što je to zabilježio Elliott



(2002). Smatra se da je prisutnost predatorskih riba kao vizualnih predatora glavni razlog periodičnosti, tj. noćnog odvijanja drifta (Allan 1978). Prema tome drift bi trebao biti aperiodičan ili dnevni u potocima bez riba (Huhta i sur. 2000). Međutim, na istraživanoj postaji, kao i na cijelom ogranku 2. reda potoka Stiper gdje je istraživanje provedeno, nije bilo riba, a drift je svejedno bio noćni. U potoku su u velikom broju bile prisutne ličinke daždevnjaka vrste *Salamandra salamandra*, no one su vjerojatno predatori samo manjih jedinki rakušaca. Dakle, noćni periodizam drifta se u ovom slučaju ne može objasniti kao prilagodba na izbjegavanje predatora.

Dnevni periodizam drifta rakušaca obično se mijenja kroz godinu. Dužina noćnog utjecaja na broj vrhunaca drifta u pojedinim mjesecima, kao i na dnevni periodizam drifta. U kraćim noćima ljeti i u proljeće obično se pojavljuje po jedan vrhunac drifta, a tijekom dugih noćiju u jesen i tijekom zime obično su zabilježena dva vrhunca (Waters, 1962; Müller, 1966). To je zabilježeno i u ovom istraživanju. U ljetnim mjesecima 2001. god., od lipnja do rujna, zabilježen je po jedan vrhunac drifta. Od listopada do ožujka 2002. god., kada su noćije bile znatno duže, zabilježena su po dva vrhunca drifta (sa iznimkom u siječnju i veljači). U toplijem dijelu 2002. god., od travnja do lipnja, tijekom kratkih proljetnih i ljetnih noćiju zabilježen je po jedan vrhunac drifta (Slika 8). Međutim, u siječnju i veljači zabilježen je samo jedan vrhunac drifta rakušaca. Razlog za takav dnevni periodizam drifta nije moguće u potpunosti objasniti, budući da su brojni razlozi koji su mogli na to utjecati. Jedan od njih je dužina intervala uzorkovanja, koja jako utječe na broj opaženih vrhunaca drifta (Allan, 1996). U ovom istraživanju uzorci drifta su prikupljani svakih 4 sata, što je relativno veliki interval i ne daje pravu sliku periodizma drifta budući da se je u takvom sumarnom driftu tijekom 4 sata moglo dogoditi više manjih vrhunaca drifta. Nadalje, za vrijeme tako dugog intervala, mreža se je često potpuno zapunila listincem i drugim organskim materijalom, što je negativno utjecalo na stvarnu sliku dnevnog periodizma drifta u ovom istraživanju.

Daljnje je bilo pitanje kakva je povezanost mjerenih fizikalno-kemijskih parametara i drifta rakušaca kao i njihovih svlakova. Povezanost temperature vode i rate drifta rakušaca potvrđuje pozitivan Pearsonov indeks korelacije od 0,50 (Tablica 3). U kolovozu je izmjerena najveća rata drifta, s maksimumom od  $685 \text{ jed.} \cdot 4\text{h}^{-1}$  (Slika 9), a tada je zabilježena i maksimalna temperatura tijekom cijelog razdoblja istraživanja. Temperatura zraka iznosila je  $23,3^\circ\text{C}$ , a vode  $19,3^\circ\text{C}$ . U studenom su pak temperature vode i zraka bile najniže, i iznosile su  $4,5^\circ\text{C}$  i  $4,6^\circ\text{C}$  (Slika 3 i Tablica 1), a i srednja vrijednost rate drifta bila je tada najniža. U prosincu su izmjerene najniže temperature ( $-5^\circ\text{C}$  i  $0^\circ\text{C}$ ), međutim,

zbog debljine leda od gotovo 5 cm, bilo je nemoguće postaviti drift-klopku u potok. Zato utjecaj temperature na drift u prosincu nije razmatran u ovom istraživanju. Ako pogledamo rate drifta u ostalim mjesecima ne može se reći da to ne slijede promjene temperature. Tako na primjer uspoređujući i lipanj i siječanj, odgovarali bi već u ratu drifta u lipnju, budući da je temperatura vode u lipnju bila 16,9 °C, a u siječnju 5,6 °C. Međutim, srednje vrijednosti rate drifta su u lipnju 2002. god. iznosile 27,3 jed.4h<sup>-1</sup>, a u siječnju 36,8 jed.4h<sup>-1</sup> (Slika 3 i Slika 10). Upravo zbog tih odstupanja utvrđena je relativno slaba povezanost temperature vode i drifta rakušaca. Ni u dosadašnjim istraživanjima nije dokazano da temperatura djeluje izravno na drift (pregled u Waters, 1972), a u kontinuiranom istraživanju drifta vrste *Gammarus pulex* tijekom dvije godine Elliott (2002) nije ustanovio postojanje tipične sezonalnosti sa smanjenjem tijekom zime, a rata drifta je bila u slabijoj pozitivnoj korelaciji s temperaturom vode. Rata drifta je u umjerenom području obično najveća ljeti, zbog najveće produkcije (Waters, 1966), a rakušci ljeti više ulaze u drift, najvjerojatnije zbog povećane seksualne aktivnosti (Lehmann, 1967) ili povećane potrebe za hranom (Elliott, 2002). Pozitivnu korelaciju drifta rakušaca i temperature vode su zbog toga ustanovili mnogi autori (Müller, 1966; Waters, 1972; Durett i Pearson, 1975).

Pri normalnim koncentracijama i zasićenjima kisikom od oko 100 % ne otkriva se utjecaj tih čimbenika na drift, pa je zato utjecaj koncentracije kisika u vodi na promjene drifta slabo zastupljen i razmatran u literaturi. U ovom je istraživanju unatoč normalnim vrijednostima koncentracije kisika i zasićenja kroz promatrano razdoblje (koncentracija kisika varira od 7,8 mgL<sup>-1</sup> u lipnju 2002. g. do 14,4 mgL<sup>-1</sup> u studenome, a zasićenje varira od 81,4% u lipnju 2002. god. do 144 % u rujnu, prosinac je izuzet jer tada drift nije mjereno) (Slika 4 i Tablica 1) zabilježena slaba negativna korelacija koncentracije kisika i drifta, ( $r = -0,38$ ) (Tablica 3). To je najvjerojatnije posljedica indirektnog utjecaja temperature na koncentraciju kisika, pošto su temperatura vode i koncentracija kisika jako negativno korelirani parametri ( $r = -0,90$ ).

Da su drift i protok vode u pozitivnoj korelaciji potvrdili su mnogi autori (npr. Brooker i Hemsworth, 1978; O'Hop i Wallace, 1983). Pozitivnu korelaciju drifta rakušaca vrste *Gammarus pulex* sa protokom potvrdio je Elliott (2002). Međutim, neki su autori primjetili obrnuti utjecaj protoka na drift rakušaca, zabilježivši smanjeni drift rakušaca u vrijeme bujica (Goedmakers i Pinkster, 1981), a Williams i Moore (1982) zaključuju da se drift rakušaca vrste *Gammarus pseudolimnaeus* smanjuje s povećanom brzinom protoka. Dakle, povećani protok može povećati, ali i smanjiti drift rakušaca. Premda je protok u ovom istraživanju bio indirektno praćen preko dubine i širine potoka, a budući da je

utvrđena slaba negativna korelacija ovih imbenika i drifta<sup>1</sup> (Tablica 3), može se zaključiti da je protok vode utjecao negativno na drift. Međutim, u veljači 2002. g. je dubina (15 cm) i širina (120 cm) potoka bila najveća (Slika 7), a tada je zabilježen i drugi, manji vrhunac drifta, sa srednjom vrijednošću rate drifta 145,2 jed.4h<sup>-1</sup> (slika 10). Ovakva povećana rata drifta u veljači, kad je temperatura vode bila niska može se dovesti u vezu sa povećanim protokom vode, a slične rezultate dobili su i drugi autori (npr. O'Hop i Wallace, 1983). U umjerenim područjima normalno je da se u kasnoj zimi pojavi sekundarni vrhunac drifta, zbog povećanog protoka vode uzrokovanog otapanjem snijega ili bujicama (Waters, 1966). Jasno je da utjecaj protoka na drift rakušaca varira jer se u ostalim mjesecima ovog istraživanja ne može pratiti povećanje rate drifta sa povećanjem širine i dubine potoka. Dakle, rezultat ovog istraživanja je u skladu sa istraživanjima autora koji su utvrdili negativnu korelaciju drifta rakušaca i protoka vode (Goedmakers i Pinkster, 1981; Williams i Moore, 1982).

Za zasićenje kisikom i pH nije utvrđena nikakva povezanost s driftom rakušaca, dok je za električnu provodljivost utvrđena vrlo slaba povezanost (Tablica 3).

Osim drifta rakušaca ovim istraživanjem je po prvi puta proučeni i drift svlakova rakušaca, budući da u dostupnoj literaturi ne postoje informacije o tome. Rast rakova, kao i općenito svih člankonožaca, povezan je sa presvlačenjem pri kojem se odbacuje stari egzoskelet. Rast tijela odvija se nakon presvlačenja starog i prije otvrdnjavanja novog egzoskeleta (Covich i Thorp, 2001). Smatra se da je broj presvlačenja kod rakušaca, od vremena napuštanja ležnog prostora ženke do postizanja spolne zrelosti konstantan za pojedinu vrstu (Pöckl, 1992). Proučanjem drifta svlakova u ovom istraživanju nastojao se odrediti utjecaj abiotičkih imbenika na dnevni i sezonski periodizam presvlačenja rakušaca *G. fossarum*.

Dnevni vrhunci drifta svlakova u pojedinim mjesecima ovog istraživanja prate dnevne vrhunce drifta rakušaca, ili zaostaju za njima za jedan vremenski interval od 4 sata (Slika 12). Na primjer, u lipnju 2001. god. vrhunac drifta rakušaca je u intervalu 1-5, a vrhunac drifta svlakova je u intervalu 5-9, a u lipnju 2002. god. nalazimo isti obrazac. U svibnju je vrhunac rate drifta rakušaca u intervalu 4-8, a vrhunac rate drifta svlakova u intervalu 8-12. U srpnju, studenom i veljači su oba vrhunca u istom intervalu. U proljetnim i ljetnim mjesecima drift svlakova je uglavnom bio veći i tijekom dana. U zimskim mjesecima su svlakovi u driftu najbrojniji noću ili nema značajne razlike u brojnosti danju i

---

<sup>1</sup> r<sub>šir</sub>=-0,55 i r<sub>dub</sub>=-0,32

no u (Slika 9). Dužina no i nema utjecaj na broj vrhunaca rate drifta svlakova, a time ni na dnevni ritam presvla enja rakušaca. Dakle, iz toga se može indirektno zaključiti da se presvla enje rakušaca vjerojatno više odvija tijekom dana u toplijem razdoblju, tj. u ljetnim i proljetnim mjesecima, a da se tijekom hladnijih jesenskih i zimskih mjeseci vjerojatno presvla enje podjednako odvija tijekom dana i no i. Budu i da je mogu e da su neki drugi razlozi utjecali na ovakve rezultate, npr. aktivnost li inki daždevnjaka i drugih vrsta, koje su svojim kretanjem mogle uznemiriti supstrat i uzrokovati povećani drift svlakova, nije mogu e sa sigurnoš u tvrditi da je drift svlakova dobar pokazatelj vremenskog nastupanja presvla enja rakušaca.

Sezonski periodizam svlakova u driftu vjerojatno je posljedica utjecaja sezonskih promjena na rast i reprodukciju rakušaca. Rakušci vrste *Gammarus fossarum* razmnožavaju se od velja e do listopada, s reproduktivnim mirovanjem u studenome i prosincu (kada u populaciji nema ovigernih ženki) (Pöckl, 1993; Pöckl i sur., 2003). To je utvr eno i za populacije ove vrste na tri postaje potoka Stiper (Žganec, 2001). Prema tome, trebala bi se očekivati najve a rata drifta svlakova tijekom toplijeg razdoblja godine kada je rast i razmnožavanje kao i presvla enje životinja najintenzivnije, što je i zabilježeno u ovom istraživanju. U lipnju 2001. god. bio je najve i broj svlakova u driftu, srednja vrijednost rate drifta svlakova iznosila je  $63,2 \text{ jed.}4\text{h}^{-1}$ , a sekundarni manji vrhunac javio se u lipnju 2002. god. sa srednjom vrijednoš u rate drifta svlakova  $13,7 \text{ jed.}4\text{h}^{-1}$  (Slika 11). Svlakovi su potpuno izostali iz drifta u kolovozu, što je vjerojatno u vezi sa slabim protokom vode, no izostali su i u listopadu, što nije mogu e objasniti.

Elektri na provodljivost je u najja oj pozitivnoj korelaciji ( $r=0,50$ ) sa sezonskim promjenama drifta svlakova (Tablica 3). Mjesec s najve om brojnoš u svlakova u driftu i maksimalnom elektri nom provodljivosti je bio lipanj 2002. god. Budu i da je elektri na provodljivost ve a u toplijem nego u hladnijem dijelu godine (pozitivno je korelirana s temperaturom,  $r=0,84$ ), dobiveni pozitivni odnos drifta svlakova i elektri ne provodljivosti je dakle, vjerojatno indirektna posljedica pozitivnog odnosa temperature i drifta i temperature i elektri ne provodljivosti. Mogu e je, tako er, da je tijekom toplijih mjeseci s ve om koncentracijom otopljenih tvari u vodi koja se mjeri preko elektri ne provodljivosti, rast rakušaca dodatno ubrzan budu i da je za presvla enje potreban kalcij iz vode (Wright, 1979). Ve e koncentracije kalcija vjerojatno dodatno doprinose bržem rastu i presvla enju rakušaca, a time i ve em broju svlakova u driftu tijekom toplijih mjeseci.

Temperatura je slabo povezana s ratom drifta svlakova što potvr uje pozitivan Pearsonov indeks korelacije 0,28 (Tablica 3). Temperatura je maksimalna u kolovozu, no

svlakova u kolovozu nije bilo. Drugi najtopliji mjesec bio je srpanj sa temperaturom vode 17,4 °C, no brojnost svlakova u driftu bila je tada neekvivalentno niska, 3,5 svl. 4h<sup>-1</sup> (Slika 11). Vjerojatno bi drift svlakova bio najveći i ljeti, i to zbog ranije objašnjene veze presvlačenja i intenzivnog reproduktivnog razdoblja u toplijem dijelu godine, da nije nastupilo presušivanje potoka i smanjeni protok u ljetnim mjesecima (srpanj i kolovoz). Unatoč slaboj ili nikakvoj povezanosti širine i dubine potoka s driftom svlakova (Tablica 3), može se pretpostaviti da je u kolovozu drift svlakova izostao zbog najslabijeg protoka vode kad je potok gotovo presušio. To potvrđuju i minimalna izmjerena dubina i širina potoka u kolovozu kad je širina potoka iznosila samo 10 cm, a dubina tek 1 cm (Slika 7). Ostali fizikalno-kemijski imbenici vode (koncentracija otopljenog kisika, zasićenje vode kisikom, pH vrijednost) imaju slabu ili nikakvu povezanost sa driftom svlakova, što je vidljivo iz Pearsonovih indeksa korelacije (Tablica 3).

Razmatranjem utjecaja samo abiotičkih imbenika na drift rakušaca ne može se obuhvatiti cijeli splet imbenika koji utječu na dnevni i sezonski periodizam drifta. Mnogi biotički imbenici, kao što je utjecaj predatora, rast i životni ciklus populacije, uvelike doprinose dnevnim i sezonskim promjenama drifta, a ponekad vjerojatno i nadvladaju utjecaj abiotičkih imbenika. Dotaknuvši se samo abiotičkih imbenika, ovo je istraživanje ipak doprinijelo poznavanju pojave drifta kod rakušca vrste *G. fossarum*, te može poslužiti pri planiranju daljnjih istraživanja utjecaja kako abiotičkih tako i biotičkih imbenika na vremenske i prostorne varijacije drifta rakušaca.

## 6. ZAKLJU AK

U ovom straživanju, u kojem je cilj bio odrediti dnevne i sezonske promjene drifta rakušaca vrste *Gammarus fossarum* i njihovih svlakova te njihovu povezanost s abioti kim imbenicima, dobiveni su sljede i zaklju ci:

1. Drift rakušaca vrste *Gammarus fossarum* bio je znatno intenzivniji tijekom no i u svim mjesecima tijekom cijelog istraživanog razdoblja.
2. Dužina no i utje e na broj vrhunaca drifta. U kratkim proljetnim i ljetnim no ima zabilježen je jedan no ni vrhunac drifta, a u dugim jesenskim i zimskim no ima dva vrhunca drifta.
3. U ljetnim i proljetnim mjesecima najve a rata drifta svlakova je bila uglavnom tijekom dana, a u jesen i zimi rata drifta svlakova bila je jednaka tijekom no i i dana, ili je bila ve a tijekom no i. Dakle, presvla enje rakušaca se odvija intenzivnije tijekom dana u ljetnim i proljetnim mjesecima, a u jesen i zimi je jednako tijekom dana i no i, ili se odvija samo no u.
4. Rata drifta rakušaca vrste *Gammarus fossarum* najve a je u toplom dijelu godine, s maksimumom u kolovozu, dok je tijekom zimskih mjeseci bila znatno manja.
5. Rata drifta svlakova najve a je u toplom dijelu godine, s maksimumom u lipnju 2001. god. dok je u hladnijem dijelu godine bila manja. Dakle, presvla enje rakušca je intenzivnije u toplijem, nego u hladnijem dijelu godine.
6. Drugi, manji vrhunac rate drifta rakušaca pojavljuje se u velja i zbog pove anog protoka vode, no dubina i širina potoka, kao indirektn e mjere protoka, su bile u slabom negativnom odnosu s driftom rakušaca i njihovih svlakova.
7. Temperatura vode je bila u najja em pozitivnom odnosu s driftom rakušaca ( $r=0,50$ ), a pozitivan odnos drifta svlakova i temperature vode je bio znatno slabiji ( $r=0,28$ ).
8. Zasi enje vode kisikom i pH vrijednost vode nisu pokazivali povezanost sa sezonskim promjenama drifta rakušaca i njihovih svlakova, dok je pozitivna korelacija izme u elektri ne provodljivosti i drifta svlakova, te koncentracije otopljenog kisika u vodi i drifta rakušaca vjerojatno indirektna posljedica utjecaja temperature na ove imbenike te ovi imbenici sami vjerojatno imaju slabiji direktni utjecaj na drift.

## 7. LITERATURA

- Allan, J. D. (1978) Trout predation and size composition of stream drift. *Limnology and Oceanography* 6: 1231-1237.
- Allan, J. D. (1996) Drift. U: Allan, J. D. (ur.) Stream ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall, London, str. 221-237.
- Allan, J. D., Herbst, G. N., Ortal, R. i Regev, Y. (1988) Invertebrate drift in the Dan River, Israel. *Hydrobiologia* 160: 155-163.
- Benson, L. J. i Pearson, R. G. (1987) Drift and upstream movement in Yuccabine Creek, an Australian tropical stream. *Hydrobiologia* 153: 225-239.
- Bernard, D. P., Neill, W. E. i Rowe, L. (1990) Impact of mild experimental acidification on short term invertebrate drift in a sensitive British Columbia stream. *Hydrobiologia* 203: 63-72.
- Bird, G. A. i Hynes, H. B. N. (1981) Movement of immature aquatic insects in a lotic habitat. *Hydrobiologia* 77: 103-112.
- Borchard, D. (1993) Effects of flow and refugia on drift loss of benthic macroinvertebrates: implications for habitat restoration in lowland stream. *Freshwater Biology* 29: 221-227.
- Brittain, J. E. i Eikeland, T. J. (1988) Invertebrate drift - A review. *Hydrobiologia* 166: 77-93.
- Brooker, M. P. i Hemsworth, R. J. (1978) The effect of the release of the artificial discharge of water on invertebrate drift in the R. Wye, Wales. *Hydrobiologia* 59: 155-163.
- Covich A. P. i Thorp J. H. (2001) Introduction to the subphylum Crustacea. U: Thorp J., Covich A. (ur.) Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press, San Diego, str. 777-809.
- Elliott, J. M. (2002) A continuous study of the total drift of freshwater shrimps, *Gammarus pulex*, in a small stony stream in the English Lake District. *Freshwater Biology* 47: 75-86.
- Durrett, C. W. i Pearson, W. D. (1975) Drift of macroinvertebrates in a channel carrying heated water from a power plant. *Hydrobiologia* 46: 33-43.
- Goedmakers, A. i Pinkster, S. (1981) Population dynamics of three gammarid species (Crustacea, Amphipoda) in a French chalk stream. Part III. Migration. *Bijdragen tot de Dierkunde* 51: 145-180.

- Huhta, A., Muotka T. i Tikkanen P. (2000) Nocturnal drift of mayfly nymphs as a post-contact antipredator mechanism. *Freshwater Biology* 45: 33-42.
- Hopkins, P.S., Kratz, K.W. i Cooper, S. D. (1989) Effects of experimental acid pulse on invertebrates in a high altitude Sierra Nevada stream. *Hydrobiologia* 171: 45-58.
- Lehmann, U. (1967) Drift und Populationsdynamik von *Gammarus pulex fossarum* Koch. *Z. Morph. Ökol. Tiere* 60: 227-274.
- Meijering, M. P. D (1977) Quantitative relationships between drift und upstream migration of *Gammarus fossarum* Koch, 1835. *Crustaceana*, Supplement 4: 128-135.
- Meijering, M. P. D (1980) Drift, upstream-migration, and population dynamics of *Gammarus fossarum* Koch, 1835. *Crustaceana*, Supplement 6: 194-203.
- Müller, K. (1954) Invesigations on the organic drift in north Swedish streams. *Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm* 35: 133-148.
- Müller, K. (1966) Die Tagesperiodik von Fließwasserorganismen. *Z. Morph. Ökol. Tiere* 56: 93-142.
- Müller, K. (1974) Strem drift as a chronobiological phenomenon in running water ecosystems. *Annual review ecological systems* 5: 309-323.
- Needham, P. R. (1928) A net for capture of stream drift organisms. *Ecology* 9: 339-342.
- O'Hop, J. i Wallace, J.B. (1983) Invertebrate drift, discharge, and sediment relation in a southern Appalchian headwater stream. *Hydrobiologia* 98: 71-84.
- Perry, S. A. i Perry, W. B. (1986) Effects of experimental flow regulation on invertebrate drift and stranding in the Flathead and Kootenai Rivers, Montana, USA. *Hydrobiologia* 134: 171-182.
- Pöckl, M. (1992) Effects of temperature, age and body size on moulting and growth in the freshwater amphipods *Gammarus fossarum* and *G. roeseli*. *Freshwater Biology* 27: 211-225.
- Pöckl M. (1993) Reproductive potential and lifetime potential fecundity of the freshwater amphipods *Gammarus fossarum* and *G. roeseli* in Austrian streams and rivers. *Freshwater Biology* 30:73-91.
- Pöckl M, Webb B. W. i Sutcliffe D. W. (2003) Life history and reproductive capacity of *Gammarus fossarum* and *G. roeseli* (Crustacea: Amphipoda) under naturally fluctuating water temperatures: a simulation study. *Freshwater Biology* 48: 53-66.
- Ramirez, A. i Pringle, C. M. (1998) Invertebrate drift and benthic community dynamics in a lowland neotropical stream, Costa Rica. *Hydrobiologia* 386: 19-26.
- Silva, E. I. L. i Davies, R. W. (1999) The effects of simulated irrigation induced changes in salinity on metabolism of lotic biota. *Hydrobiologia* 416: 193-202.



- Suren, A. M. i Jowett, I. G. (2001) Effects of deposited sediment on invertebrate drift: an experimental study. *New Zealand journal of marine and freshwater research* 35: 725-737.
- Svendsen, C.R., Quinn, T. i Kolbe, D. (2004) Review of macroinvertebrate drift in lotic ecosystems. Department of environmental conservation, Skagit Valley College, Mt. Vernon.
- Swain, R. i White, R. V. G. (1985) Influence of a metal-contaminated tributary on the invertebrate drift fauna of the King River (Tasmania, Australia). *Hydrobiologia* 122: 261-266.
- Turcotte, P. i Harper, P. P. (1982) Drift patterns in a high Andean stream. *Hydrobiologia* 89: 141-151.
- Vinikour, W. S. (1981) Aquatic insect drift through a final-cut strip mine pit, with emphasis on drift distances. *Hydrobiologia* 77: 225-232.
- Waters, T. F. (1962) Diurnal periodicity in the drift of stream invertebrates. *Ecology* 2: 316-320.
- Waters, T. F. (1965) Interpretation of invertebrate drift in streams. *Ecology* 46: 327-334.
- Waters, T. F. (1966) Production rate, population density, and drift of a stream invertebrates. *Ecology* 47: 595-604.
- Waters, T. F. (1972) The drift of stream insects. *Annual review entomology* 17: 253-272.
- Wiederholm, T. (1984) Responses of aquatic insects to environmental pollution. U: Resh, V. H. i Rosenberg, D. M. (ur.) *The ecology of aquatic insects*. Praeger publishers, New York, str. 508-557.
- Wiley, M. i Kohler, S. L. (1984) Behavioral adaptations of aquatic insects. U: Resh, V. H. i Rosenberg, D. M. (ur.) *The ecology of aquatic insects*. Praeger publishers, New York, str. 101-133.
- Williams, D. D. i Moore, K. A. (1982) The effect of environmental factors on the activity of *Gammarus pseudolimnaeus* (Amphipoda). *Hydrobiologia* 96: 137-147.
- Wright, D. A. (1979) Calcium regulation in intermoult *Gammarus pulex*. *Journal of Experimental Biology* 83: 131-144.
- Žganec, K. (2001) Populacijska dinamika rakušaca (Amphipoda, Gammaridae) u potoku Stiper (Kalnik). Diplomski rad. Prirodoslovno-matemati ki fakultet, Zagreb, str. 1-62.

